

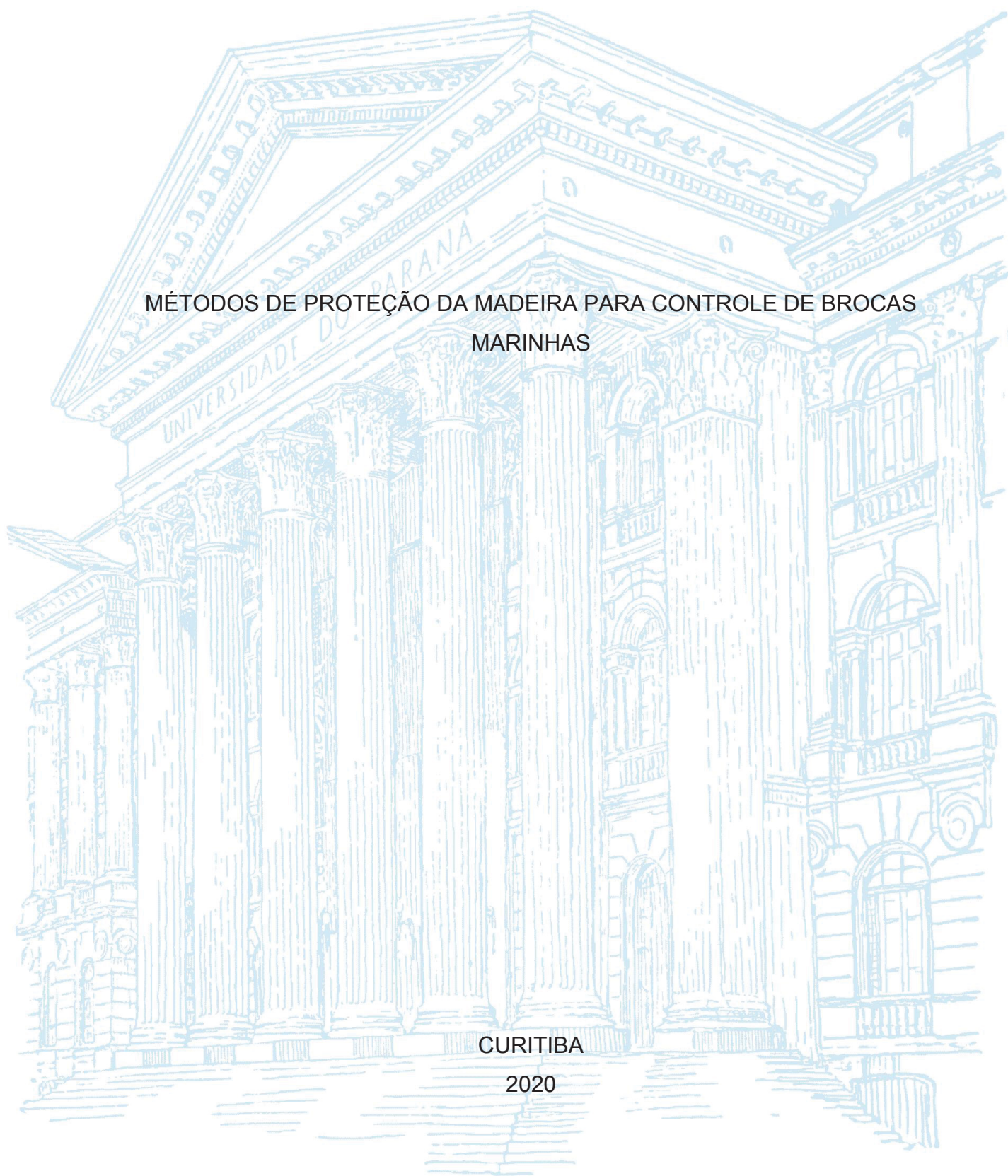
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

TARCILA ROSA DA SILVA LINS

MÉTODOS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA PARA CONTROLE DE BROCAS
MARINHAS

CURITIBA

2020



TARCILA ROSA DA SILVA LINS

MÉTODOS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA PARA CONTROLE DE BROCAS
MARINHAS

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientador(a): Prof(a). Dr(a). Ana Claudia de Paula Müller
Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana.

CURITIBA

2020

Ficha catalográfica elaborada pela
Biblioteca de Ciências Florestais e da Madeira - UFPR

Lins, Tarcila Rosa da Silva

Métodos de proteção da madeira para controle de brocas marinhas /
Tarcila Rosa da Silva Lins. - Curitiba, 2020.
95 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Pereira da Rocha

Coorientadores: Profa. Dra. Ana Claudia de Paula Müller

Prof. Dr. Paulo da Cunha Lana

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.
Defesa: Curitiba, 28/02/2020.

Área de concentração: Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais.

1. Madeira - Doenças e pragas - Controle. 2. Madeira - Conservação.
3. Madeira - Deterioração. 4. Animais marinhos. 5. Moluscos. 6. Crustáceos.
7. Teses. I. Rocha, Márcio Pereira da. II. Müller, Ana Claudia de Paula. III.
Lana, Paulo da Cunha. IV. Universidade Federal do Paraná, Setor de
Ciências Agrárias. V. Título.

CDD – 634.9

CDU – 634.0.45



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA
FLORESTAL - 40001016015P0

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em ENGENHARIA FLORESTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **TARCILA ROSA DA SILVA LINS** intitulada: **MÉTODOS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA PARA CONTROLE DE BROCAS MARINHAS**, sob orientação do Prof. Dr. **MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA**, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua aprovação no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 28 de Fevereiro de 2020.



MÁRCIO PEREIRA DA ROCHA

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)



SÉRGIO BRAZOLIN

Avaliador Externo (INSTITUTO DE PESQ. TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO)



RICARDO JORGE KLITZKE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Florestal, a Universidade Federal do Paraná e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela estrutura e apoio financeiro.

Agradeço a minha mãe, Maria das Graças, que sempre fez de tudo para que eu pudesse estudar, que me deu apoio de todas as formas possíveis (inclusive caçando insetos para a minha caixa entomológica). Juntamente com a minha tia Maria Auxiliadora, mesmo de longe, sempre estiveram presentes para me dar força nos momentos difíceis e comemorar as conquistas alcançadas.

Ao Caio Lima, que sempre esteve comigo, acreditou no meu potencial, me ajudou a ficar calma mesmo quando tudo estava dando errado. Obrigada pela paciência e companheirismo, inclusive quando eu te obrigava a estudar comigo para as provas de entomologia, por me ajudar a montar parte do meu experimento, por entender que eu não tenho férias e que sempre tem algum artigo para corrigir antes de poder parar e assistir algum filme.

Agradeço ao professor Márcio Pereira da Rocha, por ter me orientado e pela confiança de deixar esse projeto tão importante sob minha responsabilidade. Além do mais, agradeço por toda a ajuda no decorrer do mestrado, os conselhos, as broncas, os ensinamentos e os momentos de descontração. Mas acima de tudo, eu agradeço a oportunidade de poder trabalhar com brocas marinhas, que hoje eu sei que é o que gosto de estudar, e que me dá a alegria de estar sempre perto do mar.

Aos professores Ana Claudia de Paula Müller e Paulo da Cunha Lana, por me coorientar, por todos os ensinamentos, tempo e dedicação direcionados a mim. As contribuições de vocês foram importantíssimas para o aprimoramento deste trabalho.

Aos amigos e colegas que me ajudaram antes e durante este período, mesmo estando longe como Júlia Freitas, Aunio Ribeiro, Anderson Oliveira e Cris, e principalmente os que estavam aqui presentes, em especial Letícia Walter, companheira dos dois anos do mestrado, Manu Guaraná e Thiago Cardoso, que chegaram depois para completar a família, que são amigos que a UFRPE me deu e que vieram trazer um pouquinho de Pernambuco para o Paraná. Agradeço ao Marks

Moura também, pela sua contribuição para o meu trabalho, pois sem a ajuda dele a metodologia para avaliação da área consumida não existiria.

Ao professor Ricardo Klitzke e aos colegas do Laboratório de Secagem da Madeira, por terem me recebido e disponibilizado a estrutura necessária para o desenvolvimento deste e de outros trabalhos. Em especial às nossas estagiárias Laura Rieth e Tatiana Enta, a ajuda de vocês foi essencial para que eu conseguisse finalizar as coletas e a abertura dos corpos de prova. Obrigada por encarar o trabalho sujo e fedido, e o mais importante, sem ter nojo de catar os teredinhos.

Ao Centro de Estudos do Mar (CEM) por nos disponibilizar a estrutura e por todos os integrantes do Laboratório de Bentos que nos ajudaram. Aos funcionários terceirizados do CEM, que nos acompanharam nas coletas, em especial ao Abraão, que sempre se mostrou muito solícito e nos deu ótimas ideias para melhorar o nosso trabalho a partir de seus conhecimentos empíricos.

Ao Capitão Oliveira e toda a equipe da Companhia de Esquadrão Antibombas, subunidade do Batalhão de Operações Especiais (BOPE) de Curitiba, pela disponibilidade de nos receber e nos auxiliar na etapa das radiografias dos corpos de prova. Obrigada pelos cafés, pela troca de experiências e pelas playlists de rock clássico que tornavam o trabalho menos estressante.

Aos integrantes do Laboratório de Ecologia Florestal por disponibilizar o equipamento para fotografar as estruturas microscópicas. O professor Franklin Galvão por permitir o uso da câmera e pelos cafés, aos colegas Edilaine Duarte, Felipe Manzoni e Kyvia Pontes pela companhia nas tardes de trabalho e pela paciência de me explicar um milhão de vezes como o equipamento funciona. Aos integrantes do Laboratório de Sementes Florestais (LASF) por disponibilizarem as lupas para a identificação das brocas marinhas.

Ao professor Alexandre Behling, que foi muito solícito em ajudar com a resolução dos problemas de estatística desse trabalho, com sugestões que deixaram tudo mais fácil.

Agradeço a todos que de alguma forma tenham contribuído para a existência deste trabalho, pois sem essas contribuições não seria possível realizar todas essas atividades

RESUMO

Este estudo foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a resistência de *Pinus taeda* L., tratado de diferentes maneiras, submetido à ação das brocas marinhas ao longo de um gradiente estuarino de salinidade. O experimento foi instalado no município de Pontal do Paraná, em dois locais com salinidades distintas e conduzido de acordo com o descrito pela norma EN 275 (1992). Foram testados cinco tratamentos, sendo eles: dois tipos de borrachas impermeabilizantes, uma delas com a adição de sílica, ambas aplicadas por imersão; parafina, aplicada por pressão em autoclave; o método *Shou sugi ban*, que consiste na queima superficial da madeira e aplicação de óleo queimado; e a aplicação de óleo queimado pelo método do banho quente e frio. O tempo de duração do experimento foi de treze meses, com retirada de material antes desse prazo caso apresentasse alto grau de deterioração. Os corpos de prova retirados permaneciam armazenados em galões contendo álcool (70%), com o intuito de conservar o material biológico no seu interior. Para avaliar o quantitativo de área de madeira consumida, todos os corpos de prova foram radiografados e em seguida, fez-se o tratamento das imagens, por meio do *software* QGIS. Depois de radiografados, os corpos de prova foram abertos e todo o material biológico presente neles foi coletado para posterior identificação taxonômica. De acordo com as avaliações, os tratamentos com as borrachas impermeabilizantes apresentaram os menores percentuais de área consumida por brocas marinhas no terço inferior do Rio Guaraguaçu. No ponto situado próximo da costa, o tratamento que apresentou o melhor desempenho foi o de borracha impermeabilizante com a adição de sílica, com o menor percentual de área consumida. Além disso, os dois tratamentos com as borrachas impermeabilizantes foram os que resistiram por mais tempo, concluindo os treze meses de experimento. Apesar dos bons resultados, estes produtos apresentaram danos na superfície protetora, com o desprendimento do material, o que possibilitou o contato das larvas das brocas marinhas com a madeira após algum tempo. Com isto, os corpos de prova tratados com estes produtos também foram atacados, porém apresentaram um menor percentual de área consumida em comparação aos demais. Em relação às espécies encontradas no experimento, a partir do material coletado foram identificadas oito espécies, sendo sete do filo Mollusca (famílias Pholadidae e Teredinidae) e uma do filo Crustacea. As espécies *B. fimbriatula* e *M. striata* foram as que tiveram ocorrência dentre os tratamentos utilizados. Desta forma, entre os tratamentos utilizados nesse estudo, a borracha impermeabilizante com a adição de sílica é indicada para ambos os ambientes, enquanto a borracha impermeabilizante é indicada para uso apenas no estuário.

Palavras-chave: Preservação da madeira. Biodeterioração da madeira. *Teredinidae*. Moluscos. Crustáceos.

ABSTRACT

This study was developed to evaluate the resistance of *Pinus taeda* L., treated in different ways, submitted to the action of marine borers along an estuarine gradient of salinity. The experiment was installed in the municipality of Pontal do Paraná, in two locations with different salinities and conducted according to the described by the EN 275 standard (1992). Five treatments were tested, namely: two types of waterproofing rubbers, one with the addition of silica, both applied by immersion; paraffin, applied by pressure in an autoclave; the Japanese method Shou sugi ban, which consists of superficial burning of the wood and application of burnt oil; and the application of burnt oil by the hot and cold bath method. The duration of the experiment was thirteen months, with material withdrawal before that period if it presented a high degree of deterioration. The removed specimens remained stored in gallons containing alcohol (70%), to preserve the biological material inside. To assess the quantity of wood area consumed, all specimens were radiographed, and then the images were treated using the QGIS software. After radiography, the specimens were opened and all the biological material present in them was collected for later taxonomic identification. According to the evaluations, the treatments with waterproofing rubbers had the lowest percentage of area consumed by marine borers in the lower third of the Guaraguaçu River. At the point located near the coast, the treatment that showed the best performance was rubber with the addition of silica, with the lowest percentage of area consumed. Besides, the two rubber treatments were the ones that resisted the longest compared to the others, concluding the thirteen months of the experiment. Despite the good results, these products showed damage on the protective surface, with the material being detached, which allowed the contact of larvae of marine borers with wood after some time. With this, the specimens treated with these products were also attacked, but they presented a lower percentage of area consumed in comparison to the others. Regarding the species found in the experiment, eight species were identified from the collected material, seven from the phylum Mollusca (families Pholadidae and Teredinidae), and one from the phylum Crustacea. The species *B. fimbriatula* and *M. striata* were the ones that occurred among the treatments used. Thus, among the treatments used in this study, rubber with the addition of silica is indicated for both environments, while rubber is indicated for use only in the estuary.

Keywords: Preservation of wood. Biodeterioration of wood. *Teredinidae*. Mollusks. Crustaceans.

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 – CORPOS DE PROVA DE *Pinus taeda* L., QUE PERMANECERAM SUBMERSOS EM ÁREA DE MANGUE, APRESENTANDO UMA CAMADA DE INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS. ONDE A: CORPO DE PROVA COM A MAIOR PARTE DA SUA SUPERFÍCIE COBERTA; B: INDICAÇÃO DE QUE APÓS A RASPAGEM OS CORPOS DE PROVA NÃO APRESENTARAM NENHUM TIPO DE PERFURAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA; SETAS VERMELHAS: INDICAM AS INCRUSTAÇÕES; SETA AMARELA: INDICA A SUPERFÍCIE DO CORPO DE PROVA25
- FIGURA 2 – ESQUEMA EXEMPLIFICANDO COMO SE DÁ A FORMA DE ATAQUE DOS CRUSTÁCEOS. ONDE A: REPRESENTA A ESTRUTURA ANTES DO ATAQUE; B: INDICA O ASPECTO QUE A ESTRUTURA COMEÇA A APRESENTAR APÓS O INÍCIO DO ATAQUE; C: ESTRUTURA EM ESTÁGIOS MAIS AVANÇADOS DO ATAQUE, ASSEMELHANDO-SE A UMA AMPULHETA26
- FIGURA 3 – EXEMPLOS DE DANOS NA MADEIRA CAUSADO POR MOLUSCOS, ONDE: A: MADEIRA POUCO ATACADA, MAS COM A PRESENÇA DE GALERIAS; B: DESTACA OS DANOS NA REGIÃO INTERNA DO CORPO DE PROVA; C: PRESENÇA DE PERFURAÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CORPO DE PROVA; SETA AMARELA: GALERIA ABERTA POR MOLUSCOS; SETA VERMELHA: PRESENÇA DE UM INDIVÍDUOS DA FAMÍLIA TEREDINIDAE EM SUA GALERIA27
- FIGURA 4 – INDIVÍDUO de *Martesia striata* Linnaeus EM TRÊS ÂNGULOS DIFERENTES PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO DE TODAS AS SUAS ESTRUTURAS. ONDE A: VISTA VENTRAL INTEIRA COM VISTA PARCIAL DAS DUAS CONCHAS (1); B: VISTA LATERAL COM UMA CONCHA EM EVIDÊNCIA (1); C: VISTA POSTERIOR COM CONCHAS E PLACAS ACESSÓRIAS, SENDO CONCHAS (1), MESOPLAX (2) E METAPLAX (3)30
- FIGURA 5 – INDIVÍDUO DE *Psiloteredo healdi* Bartsch. A: APRESENTAÇÃO DO CORPO COMPLETO DO INDIVÍDUO; B: DESTAQUE PARA O

FORMATO DAS PALHETAS NA PARTE POSTERIOR DO CORPO; 1: VALVAS REDUZIDAS NA REGIÃO ANTERIOR DO CORPO; 2: VÁLVAS CALCÁREAS (PALHETAS) NA PARTE POSTERIOR DO CORPO	31
FIGURA 6 – PALHETAS DE INDIVÍDUOS DA FAMÍLIA <i>TEREDINIDAE</i> NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA	33
FIGURA 7 – PALHETAS DE QUATRO DIFERENTES ESPÉCIES QUE FORAM UTILIZADAS PARA A IDENTIFICAÇÃO. ONDE A: <i>Bankia fimbriatula</i> Moll; Roch , B: <i>Bankia rochi</i> Moll, C: <i>Bankia gouldi</i> Bartsch , D: <i>Lyrodus floridanus</i> Bartsch.....	35
FIGURA 8 – INDIVÍDUO DE <i>Sphaeroma terebrans</i> Bate EM DOIS ÂNGULOS DIFERENTES PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO DE SUAS ESTRUTURAS	36
FIGURA 9 – MAPA DEMONSTRANDO A DEMARCAÇÃO DOS PONTOS EM QUE ESTIVERAM INSTALADAS AS ESTRUTURAS DURANTE O EXPERIMENTO. ONDE: L1 – PRIMEIRO PONTO, PRÓXIMO À COSTA; L2 – SEGUNDO PONTO, NO TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU; L3 – TERCEIRO PONTO, NO CURSO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU.....	50
FIGURA 10 – PADRÃO DE ORGANIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NA ESTRUTURA DE PVC, COM A PRESENÇA DE TODOS OS TRATAMENTOS, ONDE: 1: TESTEMUNHA; 2; BORRACHA IMPERMEABILIZANTE; 3: PARAFINA; 4: BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM A ADIÇÃO DE SÍLICA; 5: <i>SHOU SUGI</i> <i>BAN</i> ; 6: ÓLEO QUEIMADO; 7: IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA PARA CONTROLE DO EXPERIMENTO	52
FIGURA 11 – CORPOS DE PROVA POSICIONADOS NO GALÃO METÁLICO PARA A ADIÇÃO DO ÓLEO QUEIMADO	54
FIGURA 12 – TRATAMENTO POR IMERSÃO SIMPLES DO CORPO DE PROVA UTILIZANDO A BORRACHA LÍQUIDA, DE COLORAÇÃO TRANSLÚCIDA.....	55
FIGURA 13 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA <i>SHOU SUGI BAN</i> NOS CORPOS DE PROVA DE <i>Pinus taeda</i> . ONDE A: QUEIMA INICIAL DOS CORPOS	

DE PROVA COM UM MAÇARICO; B: CORPOS DE PROVA APÓS A RASPAGEM E ADIÇÃO DE ÓLEO QUEIMADO	56
FIGURA 14 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A CAPTURA DAS RADIOGRAFIAS ONDE A: EQUIPAMENTO DE RAIOS-X PORTÁTIL POSICIONADO A UM METRO DE DISTÂNCIA DO CORPO DE PROVA E DA CHAPA DE CAPTURA DA IMAGEM; B: SCANNER QUE REALIZA A DIGITALIZAÇÃO DA IMAGEM OBTIDA PELA CHAPA DE CAPTURA DA IMAGEM	57
FIGURA 15 – CAMADAS DE CORES CRIADAS A PARTIR DO AGRUPAMENTO DE <i>PIXELS</i> NO <i>SOFTWARE</i> QGIS®, EVIDENCIANDO O CORPO DE PROVA NO CENTRO DA IMAGEM, EM VERMELHO	59
FIGURA 16 – RESUMO DAS ETAPAS DO TRATAMENTO DE IMAGEM DO CORPO DE PROVA APÓS A SUA EXPOSIÇÃO À AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS UTILIZANDO O <i>SOFTWARE</i> QGIS.....	60
FIGURA 17 – CORPO DE PROVA DE <i>Pinus taeda</i> L. TRATADO COM ÓLEO QUEIMADO, SUBMERSO NO PONTO L2, APRESENTANDO OS PRIMEIROS SINAIS DE ATAQUE POR MOLUSCOS, INDICADOS PELAS SETAS BRANCAS, NO MÊS DE FEVEREIRO.....	64
FIGURA 18 – CORPO DE PROVA DE <i>Pinus taeda</i> L. TRATADO PELO MÉTODO <i>SHOU SUGI BAN</i> APÓS 120 DIAS SUBMERSO NO PONTO PRÓXIMO À COSTA (L1), EM ESTADO AVANÇADO DE DETERIORAÇÃO NA REGIÃO PRÓXIMA AO CORDÃO DE FIXAÇÃO NA ESTRUTURA DE PVC. ONDE: SETA VERMELHA: REGIÃO DETERIORADA; SETA PRETA: CORDÃO	65
FIGURA 19 – DESPRENDIMENTO DA CAMADA IMPERMEABILIZANTE DE BORRACHA COM CRACAS ADERIDAS. A SETA VERMELHA INDICA O PRODUTO COM AS CRACAS ADERIDAS A ELE; A SETA AMARELA INDICA A SUPERFÍCIE DA MADEIRA LIVRE DE ORGANISMOS INCRUSTANTES.....	67
FIGURA 20 – DESPRENDIMENTO DAS CAMADAS DE PROTEÇÃO EM CORPOS DE PROVA DE <i>Pinus taeda</i> L. APÓS TREZE MESES SUBMERSOS NO PONTO L2. ONDE A: CORPO DE PROVA TRATADO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE; B: CORPO DE PROVA	

TRATADO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM ADIÇÃO DE SÍLICA; SETA AMARELA: DESPRENDIMENTO DAS CAMADAS PROTETORAS; SETA VERMELHA: PALHETA DE INDIVÍDUO DA FAMÍLIA <i>TEREDINIDAE</i> EM SEU ORIFÍCIO DE ENTRADA.....	68
FIGURA 21 – CORPOS DE PROVA PROTEGIDOS COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE SEM E COM ADIÇÃO DE SÍLICA, RESPECTIVAMENTE, APÓS UM ANO DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, COMPLETAMENTE COBERTOS POR ALGAS E DOIS DIFERENTES TIPOS INCRUSTAÇÕES. ONDE A: INCRUSTAÇÕES PRESENTES NO PONTO L1; B: INCRUSTAÇÕES PRESENTES NO PONTO L2	69
FIGURA 22 – CORPO DE PROVA PROTEGIDO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE APÓS ONZE MESES SUBMERSO NO PONTO L2. ONDE A: CORPO DE PROVA COMPLETAMENTE COBERTO POR INCRUSTAÇÕES; B: O MESMO CORPO DE PROVA APÓS A RASPAGEM DAS INCRUSTAÇÕES, POSSIBILITANDO A VISUALIZAÇÃO DA ÁREA PERDIDA PELA AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS.....	70
FIGURA 23 – GRÁFICO MOSTRANDO O COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, NO PONTO LOCALIZADO PRÓXIMO À COSTA (L1).	72
FIGURA 24 – GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, NO TERÇO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2).	74
FIGURA 25 – GRÁFICO SOBRE O COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, COMBINANDO AS DUAS LOCALIDADES	77
FIGURA 26 – IMAGEM RADIOGRAFADA DE UM CORPO DE PROVA PROTEGIDO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM A ADIÇÃO DE SÍLICA APÓS 11 MESES SUBMERSO NO TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2), SEM APRESENTAR SINAIS DE DANOS PELA AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS	81

FIGURA 27 – EXEMPLAR DE *Bankia fimbriatula* Moll; Roch COLETADO EM
CORPO DE PROVA SUBMERSO NO PONTO LOCALIZADO NO
TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2).....85

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA INFESTADA POR BROCAS MARINHAS SEGUNDO A NORMA EN 275 (1992)	61
TABELA 2 – QUANTIDADE TOTAL DE DIAS DE PERMANÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA DE <i>Pinus taeda</i> L. SUBMERSOS NOS PONTOS L1 E L2.	66
TABELA 3 – INFORMAÇÕES DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA), CONSIDERANDO UM DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC), PARA OBTER A INFORMAÇÃO SE HOUVE DIFERENÇA ENTRE OS TRATAMENTOS.	71
TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DE ÁREA PERDIDA PARA AS 12 SITUAÇÕES AVALIADAS, ORDENADOS DA MAIOR PARA A MENOR MÉDIA DE ÁREA CONSUMIDA.	71
TABELA 5 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R^2 E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, NO PONTO LOCALIZADO PRÓXIMO À COSTA (L1). APENAS AS COMBINAÇÕES COM $R^2 > 0,8$ FORAM CONSIDERADAS.....	73
TABELA 6 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R^2 E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, NO TERÇO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2), APENAS AS COMBINAÇÕES COM $R^2 > 0,8$ FORAM CONSIDERADAS.....	75
TABELA 7 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R^2 E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, COMPARANDO OS DOIS LOCAIS. APENAS AS COMBINAÇÕES COM $R^2 > 0,8$ FORAM CONSIDERADAS.	79
TABELA 8 – PERCENTUAIS MÉDIOS DA ÁREA CONSUMIDA DE CADA CORPO DE PROVA DO EXPERIMENTO, SUAS RESPECTIVAS CLASSIFICAÇÕES PELA NORMA EN 275 (1992) E OS VALORES MÉDIOS DE CADA TRATAMENTO NOS DOIS AMBIENTES.	80
TABELA 9 – LISTA DAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS EM CORPOS DE PROVA DE MADEIRA DE <i>Pinus taeda</i> L., COM DIFERENTES TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE E SEM TRATAMENTO	83

TABELA 10 – LISTA DAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS, RELACIONANDO-AS COM OS TRATAMENTOS DA MADEIRA EM QUE FORAM ENCONTRADAS E OS LOCAIS EM QUE OS CORPOS DE PROVA ESTIVERAM SUBMERSOS.....	84
--	----

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 OBJETIVOS	19
1.1.1 Objetivo geral	19
1.1.2 Objetivos específicos	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	21
2.1 UTILIZAÇÃO DA MADEIRA EM AMBIENTE MARINHO	21
2.2 RESISTÊNCIA DA MADEIRA A AGENTES XILÓFAGOS	22
2.3 AGENTES BIOLÓGICOS ATUANTES EM AMBIENTE MARINHO	24
2.3.1 Diferenças entre brocas marinhas e incrustações biológicas	24
2.3.2 Características gerais das brocas marinhas	27
2.3.2.1 Filo <i>Mollusca</i>	29
2.3.2.1.1 Família <i>Pholadidae</i>	29
2.3.2.2 Família <i>Teredinidae</i>	31
2.3.2.3 Identificação de indivíduos da família <i>Teredinidae</i>	34
2.3.3 Filo <i>Crustacea</i>	35
2.3.4 Brocas marinhas no Brasil	37
2.4 PROBLEMAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA CAUSADOS POR BROCAS MARINHAS	39
2.5 TÉCNICAS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA	41
2.5.1 Medidas preventivas	42
2.6 USO DE EQUIPAMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE XILÓFAGOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA	47
3 MATERIAL E MÉTODOS	49
3.1 ÁREA DE ESTUDO	49
3.2 PREPARO DO MATERIAL E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO	51
3.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA	52
3.3.1 Banho quente-frio	53
3.3.2 Impregnação em autoclave – Processo Bethell	54
3.3.3 Imersão	55
3.3.4 Tratamento por queima superficial (<i>Shou sugi ban</i>)	56
3.4 AVALIAÇÃO DA ÁREA CONSUMIDA	57
3.4.1 Radiografias dos corpos de prova	57

3.4.2 Tratamento das imagens.....	58
3.4.3 Quantificação da área consumida	59
3.4.4 Comparativo entre estimativa com o tratamento de imagens e a norma EN 275 61	
3.5 IDENTIFICAÇÃO DOS AGENTES XILÓFAGOS	61
3.6 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	62
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	63
4.1 AVALIAÇÃO DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA	63
4.1.1 Tempo de permanência dos corpos de prova em campo.....	63
4.1.2 Análise dos dados	70
4.1.2.1 Análise estatística.....	70
4.1.2.2 Análise de regressão	72
4.1.3 Quantificação da área consumida	80
4.2 ESPÉCIES DE MOLUSCOS E CRUSTÁCEOS ENCONTRADOS NOS CORPOS DE PROVA.....	83
5 CONCLUSÕES	88
REFERÊNCIAS.....	89

1 INTRODUÇÃO

A madeira é utilizada no mundo inteiro para a construção de estruturas em ambiente marinho, bem como embarcações, trapiches, *decks* e atracadouros. Porém, está sempre exposta a organismos que podem prejudicar o seu bom desempenho, como as incrustações biológicas e as brocas marinhas.

Apesar de causar danos às estruturas, a forma de ação desses agentes biológicos é distinta. As incrustações criam uma camada de cálcio, utilizando a estrutura apenas para a sua sustentação, sendo assim, os danos causados por elas são pelo excesso de peso. Por outro lado, as brocas marinhas são organismos xilófagos, ou seja, se alimentam da madeira.

As brocas marinhas são subdivididas em dois grandes grupos, de acordo com as suas características morfológicas, que são os moluscos e os crustáceos, cujos danos causados também são diferentes de acordo com o grupo. Os moluscos são mais discretos, seu ataque se dá pela abertura de galerias no interior da madeira, o que dificulta a sua identificação. Os crustáceos atacam a madeira pela sua superfície, que ao ficar enfraquecida, começa a se desprender da estrutura, o que torna mais fácil a visualização do dano.

Os registros de problemas causados por brocas marinhas não são recentes e estão presentes no mundo inteiro, sempre associados a prejuízos financeiros. Em países como EUA, Japão e muitos da Europa, por exemplo, as pesquisas são mais avançadas para tentar diminuir os danos causados pelas brocas marinhas, aumentando a durabilidade da madeira. No Brasil, o problema também existe, porém, apesar disso, as pesquisas relacionando o comportamento das brocas marinhas com a madeira, bem como formas de aumentar a sua durabilidade, ainda são muito escassos.

Quando comparados a estudos testando produtos preservativos contra outros agentes xilófagos, como fungos e insetos, é possível perceber que existe pouca informação voltada para brocas marinhas. Sabe-se que a aplicação de preservativos aumenta a vida útil da madeira consideravelmente em ambientes externos, o que justifica ainda mais a necessidade de buscar novas alternativas para serem utilizadas em ambiente marinho.

A identificação do ataque dos moluscos é um outro ponto importante, tendo em vista a dificuldade de visualizar os sinais de ataque, mas também os problemas associados à uma tomada de decisão tardia. Desta forma, o desenvolvimento de técnicas que ajudem a detectar o problema é outro ponto que precisa ser estudado com mais frequência. .

Para avaliar os danos causados por moluscos, a técnica sugerida pela EN 275 (1992), norma para estudos com brocas marinhas, é a avaliação visual de radiografias dos corpos de prova, na qual notas são atribuídas pela quantidade de área consumida do corpo de prova. No entanto, esta forma de avaliar o material de estudo é subjetiva, considerando que cada avaliador confere uma nota para o grau de deterioração por meio de uma tabela. A utilização de tratamento de imagem que ajude a quantificar essa área consumida, pode ser uma alternativa para complementar a visualização das radiografias e obter uma informação extra para os estudos com esse tema.

Diante do contexto, torna-se necessário buscar alternativas de métodos de tratamentos, visando aumentar a resistência da madeira em ambiente marinho. Além disso, mostra a importância de desenvolver técnicas que permitam uma avaliação com maior precisão dos danos causados por esses organismos.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar a resistência da madeira de *Pinus taeda* L. com diferentes tratamentos, submetida à ação das brocas marinhas em ambiente estuarino, com variações de salinidade.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o desempenho dos tratamentos: aplicação de borracha impermeabilizante com e sem a adição de sílica, banho quente-frio com óleo queimado, aplicação de parafina em autoclave e aplicação da técnica *Shou Sugi Ban* para a proteção da madeira contra brocas marinhas.

- Fornecer uma alternativa de produto, dentre os tratamentos avaliados, que aumente a vida útil de estruturas utilizadas em ambiente marinho.
- Verificar a ocorrência das espécies de xilófagos em função da salinidade do local.
- Propor uma metodologia para quantificar a área de madeira consumida por tratamento de imagens.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 UTILIZAÇÃO DA MADEIRA EM AMBIENTE MARINHO

A utilização da madeira foi e continua sendo de grande importância para o desenvolvimento da humanidade em diversos aspectos. A versatilidade deste material possibilitou a sua aplicação desde a confecção de objetos menores, como utensílios domésticos e ferramentas, até embarcações e ainda para erguer grandes construções.

Esse material apresenta vantagens como a sua boa relação peso/resistência e fácil trabalhabilidade em comparação com outros materiais normalmente utilizados em construções, como aço e concreto, além de sofrer menos corrosão pelo sal da água do mar do que outros materiais. Especificamente para embarcações, além de todos esses pontos positivos, a madeira é um material com a capacidade de flutuar na água e ser resistente ao mesmo tempo (JOHNSON, 1996; PFIEL; PFIEL, 2003; BURNETT, 2006; BORGES, 2014).

Devido a essas facilidades, a madeira também é muito utilizada em construções fixas, como as pontes e píeres. Em zonas de maior isolamento, a disponibilidade de madeira também é um ponto positivo, pois fornece a matéria prima para essas construções (JOHNSON, 1996).

Segundo Hingston et al (2001), no desenvolvimento inicial de cidades localizadas em regiões costeiras de mares e rios, a madeira esteve presente em grandes quantidades para a construção de estacas, docas e anteparas. Os autores também destacam que, devido a esse fato, houve uma pressão ambiental para reduzir o ritmo da exploração excessiva das espécies nativas, pois estas apresentavam maior durabilidade para este objetivo.

Um exemplo disso ocorreu no Brasil, Goularti Filho (2011) destaca que durante o Império, em que existiam áreas florestais extensas e por sua vez, a madeira era a base da indústria naval. Segundo o mesmo autor, essa grande oferta de matéria-prima possibilitou a criação de estaleiros em cidades portuárias como Rio de Janeiro, Salvador, Recife, Porto Alegre e Belém. A madeira, em especial de espécies nativas da Mata Atlântica, era utilizada principalmente para a realização de

reparos em embarcações, sendo registrado, na década de 1930, utilização exclusiva de madeira nacional para construções navais (GOULARTI FILHO, 2011).

Entretanto, por se tratar de um material biológico está sujeito à biodeterioração em qualquer ambiente de uso. Em sua composição química, a madeira possui elementos que podem atrair ou protegê-la de agentes xilófagos, essas características mudam de acordo com a espécie. Este é o principal motivo para que existam madeiras mais resistentes que outras para determinadas finalidades, por isso é importante conhecer as propriedades intrínsecas de cada espécie.

2.2 RESISTÊNCIA DA MADEIRA A AGENTES XILÓFAGOS

A madeira desempenha funções de grande importância para construções, entretanto, existe uma característica que não pode ser desconsiderada quando se determina a sua utilização, que é a resistência natural. Por exemplo, uma espécie que possui baixa durabilidade natural e sem a adição de produto preservativo, não deve ser destinada para uso externo, pois estará mais vulnerável à ação de organismos xilófagos.

Conhecer essa propriedade da madeira tem muita relevância, bem como a ação dos agentes xilófagos, possibilitando a utilização correta da madeira, principalmente em construções civis (SILVA; LOPEZ; OLIVEIRA, 2004). Além disso, com essas informações é possível estudar a melhor maneira de combater e/ou controlar o ataque desses organismos. Os organismos que causam danos à madeira são: fungos, subdivididos em emboloradores, manchadores e apodrecedores; insetos, subdivididos em cupins, besouros, abelhas e vespas; e brocas marinhas, subdivididas em moluscos e crustáceos.

A madeira se torna um atrativo para os xilófagos, pois utilizam as substâncias de reserva e polímeros naturais presentes nela como fonte de alimento. A porção da madeira onde estão presentes os polissacarídeos é o alburno, que armazena esse material nutritivo, tornando-o mais vulnerável. Por outro lado, o cerne se mostra mais resistente pois, além de não possuir essas substâncias de reserva, possui componentes químicos capazes de protegê-lo, que são os extrativos (SILVA; LOPEZ; OLIVEIRA, 2004; PAES, 2002).

A presença dos extrativos varia de acordo com a espécie, a idade e a parte da árvore, conferem à madeira características como a cor, odor e a sua durabilidade natural. Existem diversos tipos destes componentes químicos, sendo alguns mais efetivos para a proteção contra os xilófagos, como o grupo dos terpenoides, que são tóxicos para organismos biodeterioradores (KEEY; LANGRISH; WALKER, 2000; KOLLMANN; CÔTÉ, 1968).

Além dos extrativos, os componentes minerais também contribuem para a proteção da madeira. A presença de sílica em maior quantidade, é um indicativo de que a espécie pode apresentar maior resistência. Na fase jovem, quando as plantas possuem elevado teor de sílica, tendem a apresentar uma estrutura mais rígidas e serem menos vulneráveis a fungos e insetos. Em relação à madeira, quando proveniente de espécies que possuem grande quantidade de sílica na sua composição, tendem a ser menos suscetíveis ao ataque de insetos e brocas marinhas, pois causa danos às mandíbulas destes organismos (GONÇALVES et al., 2013; PAES et al., 2013; RODRIGUES; SANTANA, 2005; RODRIGUES; SANTANA, 2008).

Essa proteção pode estar associada ao desgaste que a presença da sílica causa pela abrasão. Melo et al. (2010) atribuem a maior resistência ao ataque de cupins a este componente, pois em seu estudo, painéis particulados com maior quantidade de casca de arroz (rica em sílica) em sua composição, tiveram menos perda de área. Os autores indicam que a alta concentração de sílica causou um maior efeito abrasivo, dificultando a mastigação dos cupins.

Além das características intrínsecas, as condições ambientais do local em que a madeira está instalada podem facilitar a ação dos organismos. Os principais fatores são a umidade, temperatura, pH e a oferta de oxigênio, que estão diretamente ligados às condições ideais para o estabelecimento e desenvolvimento dos xilófagos (STANGERLIN et al., 2013). Por este motivo, sempre se utiliza madeira tratada com produtos preservativos para ambiente externo, tendo em vista que estará exposta a condições que podem deteriorá-la de diversas maneiras.

Existem algumas espécies que são conhecidas pela sua baixa durabilidade à ação de organismos xilófagos, sendo utilizadas na maioria das vezes como referencial em experimentos com o objetivo de testar essa característica, bem como a efetividade de tratamentos. De maneira geral, espécies de rápido crescimento

como as do gênero *Pinus* têm essa característica (COSTA et al., 2005), sendo normalmente a madeira de referência (testemunha) para testes com fungos (OLIVEIRA; TOMASELLO; SILVA, 2005) e cupins (SILVA; LOPEZ; OLIVEIRA, 2004).

Em testes com brocas marinhas, seja avaliando a resistência natural de madeiras ou a efetividade de preservativos, não é diferente. A norma que fornece as regras para estudos com xilófagos marinhos, EN 275 (1992), indica *Pinus sylvestris* (Linneaus) como a espécie adequada para ser o referencial devido a sua baixa resistência.

Por estes motivos, a utilização de madeiras de maior resistência natural, normalmente espécies nativas, é mais indicada para uso em locais com maior possibilidade de ataque por organismos xilófagos. Entretanto, com a alta demanda, a quantidade de madeira disponível dessas espécies pode não ser o suficiente para suprir a necessidade por matéria-prima (KLÜPPEL et al., 2015). Esse é mais um fator que ressalta a importância de se buscar alternativas para aumentar a durabilidade da madeira, principalmente de espécies de rápido crescimento.

2.3 AGENTES BIOLÓGICOS ATUANTES EM AMBIENTE MARINHO

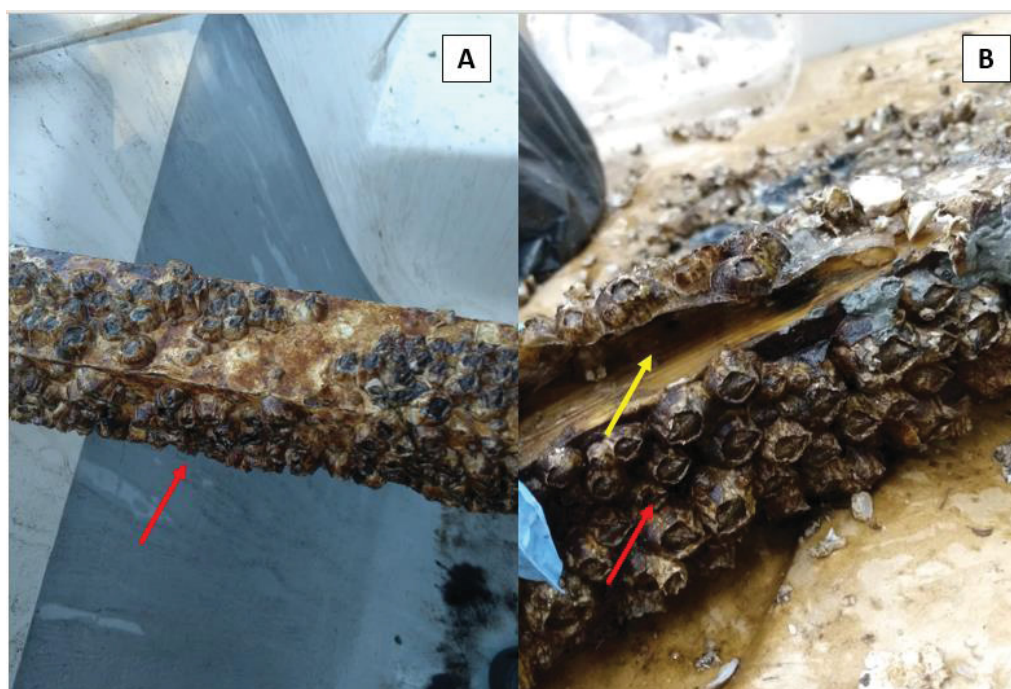
2.3.1 Diferenças entre brocas marinhas e incrustações biológicas

As brocas marinhas e as incrustações biológicas costumam ser classificadas como organismos que causam danos na madeira, entretanto, é importante destacar que são grupos que agem de maneiras distintas. Enquanto as brocas marinhas perfuram a madeira, causando deterioração e perda de área, as incrustações biológicas a utilizam apenas para a sua fixação (TOMMASI; BAUER; LARA, 1972).

As incrustações biológicas, ou cracas, são organismos marinhos que utilizam as superfícies para se fixar. Essas espécies competem por um local para se firmar e crescer, conseqüentemente, pela possibilidade de sobreviver. Caso as larvas destes organismos não consigam se fixar, podem ser levadas pelas correntes para locais desfavoráveis, podendo perecer algum tempo depois (TOMMASI; BAUER; LARA, 1972).

A FIGURA 1 mostra como ocorre a ação das cracas, em que na FIGURA 1A, pode-se observar que a superfície a qual estão aderidas está quase completamente coberta, enquanto a FIGURA 1B mostra que, após raspar essa camada, não há nenhum tipo de dano à superfície, como perfurações.

FIGURA 1 – CORPOS DE PROVA DE *Pinus taeda* L., QUE PERMANECERAM SUBMERSOS EM ÁREA DE MANGUE, APRESENTANDO UMA CAMADA DE INCRUSTAÇÕES BIOLÓGICAS. ONDE A: CORPO DE PROVA COM A MAIOR PARTE DA SUA SUPERFÍCIE COBERTA; B: INDICAÇÃO DE QUE APÓS A RASPAGEM OS CORPOS DE PROVA NÃO APRESENTARAM NENHUM TIPO DE PERFURAÇÃO NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA; SETAS VERMELHAS: INDICAM AS INCRUSTAÇÕES; SETA AMARELA: INDICA A SUPERFÍCIE DO CORPO DE PROVA



FONTE: A autora (2019).

Esses indivíduos podem causar danos a estruturas e embarcações, de maneira diferente das brocas marinhas, pois não perfuram o material. Os prejuízos associados às incrustações são relacionados ao seu acúmulo na superfície, aumentando consideravelmente o peso e ocasionando danos mecânicos (SANCHES et al., 2007).

Para evitar problemas, sugere-se a raspagem, escovação e a lavagem periódica da região colonizada, sendo estes métodos menos agressivos ao meio ambiente (SANCHES et al., 2007). Além disso, uma alternativa muito comum é a

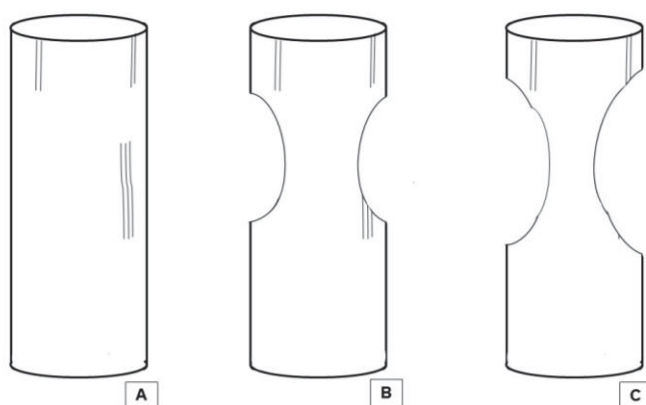
aplicação de tintas anti-incrustantes, para evitar que esses organismos consigam se aderir à superfície.

Quanto às brocas marinhas, estas são classificadas como organismos xilófagos biodeterioradores de madeira, assim como bactérias, fungos e insetos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Esses perfuradores podem atacar a madeira para utilizá-la como substrato, buscando abrigo e proteção contra predadores ou podem se instalar na madeira para utilizá-la como fonte de alimento. Em muitos casos, podem se alojar na madeira pelos dois motivos simultaneamente (MENZIES; TURNER, 1957).

As brocas marinhas podem ser agrupadas de acordo com as suas características em crustáceos e moluscos (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Os representantes destes grupos apresentam diferenças nas suas características taxonômicas, sendo os moluscos de corpo vermiforme alongado ou rígido em forma de concha (MÜLLER; LANA, 2004), e os crustáceos são milimétricos e com uma casca rígida envolta ao corpo.

A forma de ataque também ajuda a distingui-los, sendo que os crustáceos atacam a madeira pela superfície (FIGURA 2A), à medida que avançam no ataque vão adentrando na madeira, que vai perdendo área gradativamente devido a deterioração (FIGURA 2B). Em estágios mais avançados, a estrutura apresenta uma região mais afilada, muito semelhante a uma ampulheta (FIGURA 2C), por isso a forma de ataque dos crustáceos é denominada “dano em forma de ampulheta”.

FIGURA 2 – ESQUEMA EXEMPLIFICANDO COMO SE DÁ A FORMA DE ATAQUE DOS CRUSTÁCEOS. ONDE A: REPRESENTA A ESTRUTURA ANTES DO ATAQUE; B: INDICA O ASPECTO QUE A ESTRUTURA COMEÇA A APRESENTAR APÓS O INÍCIO DO ATAQUE; C: ESTRUTURA EM ESTÁGIOS MAIS AVANÇADOS DO ATAQUE, ASSEMELHANDO-SE A UMA AMPULHETA



FONTE: A autora (2020).

Por outro lado, os moluscos formam galerias individuais, perfurando a madeira internamente (FIGURA 3A). Apesar de em um primeiro momento a estrutura parecer estar intacta, por dentro ela pode estar com muitas galerias, deixando o material enfraquecido (FIGURA 3B). Em estágios mais avançados, os danos podem ser vistos na superfície (FIGURA 3C).

FIGURA 3 – EXEMPLOS DE DANOS NA MADEIRA CAUSADO POR MOLUSCOS, ONDE: A: MADEIRA POUCO ATACADA, MAS COM A PRESENÇA DE GALERIAS; B: DESTACA OS DANOS NA REGIÃO INTERNA DO CORPO DE PROVA; C: PRESENÇA DE PERFURAÇÕES NA SUPERFÍCIE DO CORPO DE PROVA; SETA AMARELA: GALERIA ABERTA POR MOLUSCOS; SETA VERMELHA: PRESENÇA DE UM INDIVÍDUO DA FAMÍLIA TEREDINIDAE EM SUA GALERIA



FONTE: A autora (2019).

Essa distinção é importante não somente para identificar o organismo que está atuando, mas também para a identificação do dano na madeira. Como o ataque dos moluscos é mais discreto, dificulta a identificação em um primeiro momento, o que pode prejudicar ações de substituição e manutenção da madeira em serviço.

2.3.2 Características gerais das brocas marinhas

A rapidez do ataque por brocas marinhas varia de acordo com as condições ambientais do local. Por exemplo, na região costeira do oceano Pacífico, Golfo e Atlântico Sul (EUA), estacas de madeira não tratadas podem sofrer danos consideráveis em pouco tempo, sendo destruídas em cerca de um ano pelas brocas marinhas (CLAUSEN, 2010). O mesmo autor afirma que, apesar de ser um local de clima temperado, esta região apresenta condições mais favoráveis para a ação das brocas marinhas.

Os moluscos que atacam madeira pertencem a duas famílias de bivalves do Filo Mollusca: Teredinidae, que perfuram exclusivamente madeira; e Pholadidae, que perfuram também outros materiais como rochas moles, concreto e PVC. Os representantes da família Teredinidae são especializados em deteriorar a celulose em ambientes marinhos e estuarinos (MALDONADO; SKINNER, 2016). Por este motivo, a disponibilidade de madeira é um dos fatores que mais influenciam na sua presença e distribuição, assim como a temperatura e a salinidade (MALDONADO; SKINNER, 2016). A dispersão dos indivíduos adultos pode facilmente ocorrer em cascos de embarcações ou troncos que ficam à deriva no mar (MÜLLER; LANA, 2004).

Apesar de causar problemas econômicos, as brocas marinhas desempenham a relevante função ecológica de aceleradores na reciclagem da matéria orgânica (MÜLLER; LANA, 2004). Os mesmos autores afirmam que essa ação se dá por meio da fragmentação e digestão de partículas de madeira presentes nos ambientes marinhos, muitas vezes em áreas de mangue.

A deterioração da madeira em ambientes marinhos ocorre de maneira complexa, relacionando fatores deste ambiente (concentração de oxigênio, temperatura da água e salinidade) e as propriedades da madeira. Por esta razão, as brocas marinhas são essenciais para a deterioração da madeira, atuando como agentes decompositores. Por exemplo, se muitas brocas marinhas estiverem presentes, mais da metade da massa de uma peça de pinus pode ser deteriorada em menos de seis meses (CHARLES et al., 2016). Os teredinídeos são muito eficientes na decomposição de troncos e ramos de árvores localizadas em área de mangue (LOPES; NARCHI, 1993). Os mesmos autores afirmam que a sua taxa de deterioração chega a aproximadamente 50% da massa original em um período de dois anos, podendo ainda ser considerados mais rápidos do que organismos decompositores das florestas terrestres.

A ocorrência das espécies de brocas marinhas em um local se dá em função da disponibilidade de substrato, da temperatura e das condições físico-químicas da água. A salinidade da água exerce influência direta, havendo aquelas que não ocorrem em uma salinidade considerada baixa. Entretanto, há espécies que não são tão afetadas pela alteração da salinidade e conseguem se desenvolver em locais de salinidade alta ou baixa (MENZIES; TURNER, 1957).

Sendo assim, conhecer as características biológicas destes organismos, como a sua fisiologia, pode ser uma boa alternativa para descobrir alguma maneira de impedir o ataque, como por exemplo o estudo da sua nutrição e de como se inter-relacionam com micro-organismos. Desta forma, pode-se tentar desenvolver algum produto preservativo que interfira na sua alimentação seja tornando a madeira menos palatável ou mais prejudicial para as brocas marinhas (CRAGG et al., 1999).

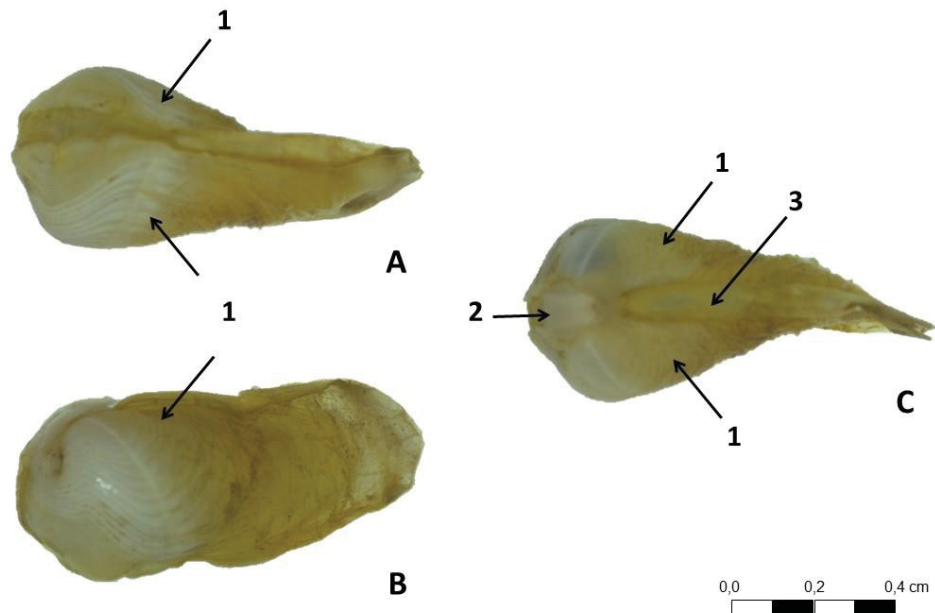
2.3.2.1 Filo *Mollusca*

2.3.2.1.1 Família *Pholadidae*

Os moluscos da família *Pholadidae*, apesar de atuarem de forma diferente da família *Teredinidae* (teredos), também devem ser considerados pelos danos que causam em estruturas marinhas (CLAUSEN, 2010). Segundo o mesmo autor, assim como os teredos, suas larvas penetram na madeira e crescem dentro dela, porém ocupam apenas o espaço necessário para suas conchas, não abrindo galerias extensas. Os gêneros mais conhecidos deste grupo pelos danos causados à madeira são *Martesia* e *Xylophaga* (CLAUSEN, 2010).

Várias espécies da família *Pholadidae* têm a capacidade de perfurar a madeira de baixa densidade (COOKSON; SCOWN, 1999). Os mesmos autores afirmam que o gênero *Martesia* é o que se destaca como o maior causador de problemas em estruturas de madeira situadas em ambiente marinho, principalmente as espécies *Martesia fragilis* Verrill e Bush, *Martesia nairi* Turner e Santhakumaran, *Martesia cuneiformis* (Say) e *Martesia striata* (Linnaeus) (FIGURA 4). Na Austrália, a espécie *M. striata* está muito associada à perfuração de madeira, havendo relatos, inclusive, de ataques desta espécie mesmo em madeira tratada com creosoto (COOKSON; SCOWN, 1999).

FIGURA 4 – INDIVÍDUO de *Martesia striata* Linnaeus EM TRÊS ÂNGULOS DIFERENTES PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO DE TODAS AS SUAS ESTRUTURAS. ONDE A: VISTA VENTRAL INTEIRA COM VISTA PARCIAL DAS DUAS CONCHAS (1); B: VISTA LATERAL COM UMA CONCHA EM EVIDÊNCIA (1); C: VISTA POSTERIOR COM CONCHAS E PLACAS ACESSÓRIAS, SENDO CONCHAS (1), MESOPLAX (2) E METAPLAX (3)



FONTE: A autora (2019).

No continente americano, três espécies do gênero foram registradas, dentre elas, *M. striata* é a mais comum e causadora de mais danos. Está presente desde o oceano Atlântico estendendo-se da Carolina do Norte (USA) até São Paulo (Brasil), do México ao Peru, no Pacífico Oriental, bem como em outras regiões do Pacífico onde certamente foi introduzida por ação humana (MENZIES; TURNER, 1957).

Assim como os *Teredinidae*, os *Pholadidae* entram na madeira quando estão na sua fase larval, criando um pequeno orifício de entrada e crescendo à medida que vão penetrando na madeira. Apesar de serem pequenos, atingindo no máximo 64mm de comprimento e 25 mm de diâmetro, podem causar sérios danos nas embarcações e estruturas portuárias de madeira (CLAUSEN, 2010).

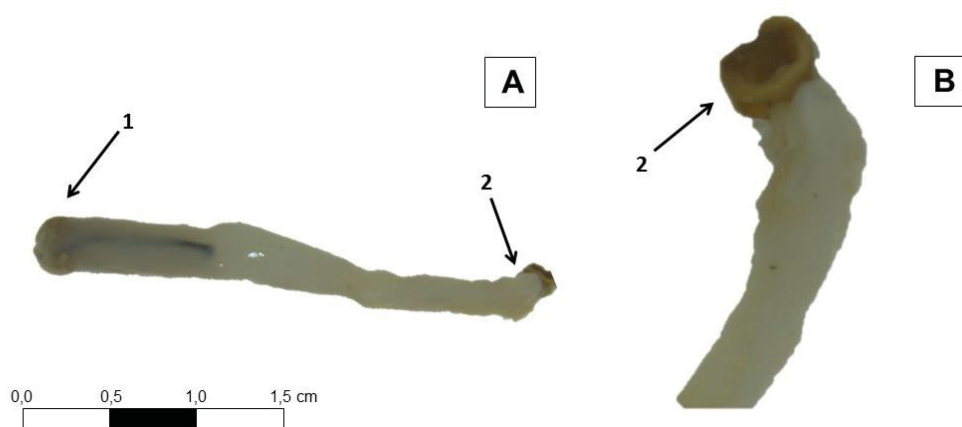
A forma de ataque é um dos principais meios de diferenciação, pois os representantes da família *Pholadidae* permanecem apenas no local em que se estabeleceram inicialmente e param de perfurar quando atingem o seu tamanho adulto, algumas espécies secretam calcário para fechar o orifício de entrada (MENZIES; TURNER, 1957). Os *Teredinidae*, por outro lado, continuam perfurando

à medida que crescem, desde que haja espaço para isto. Outro ponto importante é a existência de estruturas calcáreas, as palhetas, as quais permitem que os teredos fechem as suas galerias em períodos de condições adversas, que pode ser um dos mecanismos que permitem que sejam considerados cosmopolitas (MENZIES; TURNER, 1957). Além disso, enquanto os teredos perfuram apenas a madeira, as espécies de *Pholadidae* podem utilizar como substrato outros materiais como lama, turfa, rocha e concha (MENZIES; TURNER, 1957). Espécies das duas famílias podem competir por espaço quando ocupando o mesmo substrato (BOYLE; TURNER, 1976).

2.3.2.2 Família *Teredinidae*

Os teredos apresentam corpo vermiforme, com dois sífões providos de duas valvas calcárias (palhetas) na parte posterior do corpo, utilizadas na sua identificação. Na região anterior do corpo, encontram-se as valvas reduzidas que são usadas para a perfuração da madeira (MÜLLER; LANA, 2004). A FIGURA 5 mostra a espécie *Psiloteredo healdi* Bartsch, que exemplifica essas características gerais dos representantes desta família, onde é possível visualizar o corpo alongado e vermiforme (A) e as valvas calcárias na parte posterior do corpo (B).

FIGURA 5 – INDIVÍDUO DE *Psiloteredo healdi* Bartsch. A: APRESENTAÇÃO DO CORPO COMPLETO DO INDIVÍDUO; B: DESTAQUE PARA O FORMATO DAS PALHETAS NA PARTE POSTERIOR DO CORPO; 1: VALVAS REDUZIDAS NA REGIÃO ANTERIOR DO CORPO; 2: VÁLVAS CALCÁREAS (PALHETAS) NA PARTE POSTERIOR DO CORPO



FONTE: A autora (2019).

Antes de penetrar na madeira, os *Teredinidae* apresentam uma fase larval, com tamanho diminuto, cerca de 0,25 mm de diâmetro (NAIR; SARASWATHY, 1971). Os autores afirmam que as larvas ficam à deriva na água, alimentando-se de algas unicelulares. Porém, a duração do período larval varia de acordo com o ambiente, sendo mais curto em águas mais quentes das regiões tropicais e subtropicais. Esse período de natação livre do gênero *Bankia*, por exemplo, é de aproximadamente de 17 dias em águas tropicais. Entretanto, foi registrado que indivíduos de *B. gouldi* nadam por cerca de um mês em locais mais frios (NAIR; SARASWATHY, 1971).

Ao encontrar a madeira, se inicia a etapa de assentamento. Nesta etapa a larva rasteja com o auxílio do pé, procurando o melhor local para penetrar na madeira (NAIR; SARASWATHY, 1971). Os mesmos autores afirmam que, para que ocorra a penetração da larva, a madeira deve apresentar uma microflora e fauna já estabelecidas na sua superfície. Após o seu assentamento, as larvas permanecem na madeira, onde realizam a sua metamorfose para chegar à fase adulta (NAIR; SARASWATHY, 1971).

Segundo Steinmayer e Turfa (1996), este período é curto, portanto, logo precisam encontrar alguma estrutura para penetrar e, desta forma, ter sua fonte de alimentação. Porém, caso haja algum impedimento da sua entrada na madeira por até 96 horas, as larvas perdem a capacidade de perfurar a madeira para adentrar e morrem poucas horas depois (STEINMAYER; TURFA, 1996).

Por este motivo, repelir ou eliminar estas larvas é uma das formas mais eficientes de prevenir o ataque dos teredos, visto que impede o seu contato com a madeira e, conseqüentemente, não permite que se estabeleçam nela (MENZIES; TURNER, 1957). Uma vez no interior da madeira, as larvas se alimentam deste material para o seu desenvolvimento, ao mesmo tempo que abrem galerias. Desta forma, em um primeiro momento a superfície da peça permanece intacta enquanto o interior está danificado (WALKER, 2006).

Quando já estão assentadas na madeira, as larvas começam o processo de perfuração em que utilizam a madeira como a sua principal fonte de alimento. As palhetas permanecem para fora do orifício de entrada (FIGURA 6), sendo recolhidas quando existe algum tipo de ameaça externa.

FIGURA 6 – PALHETAS DE INDIVÍDUOS DA FAMÍLIA *TEREDINIDAE* NA SUPERFÍCIE DA MADEIRA



FONTE: A autora (2019).

A digestão da madeira começa quando pequenas partículas passam pelo esôfago e chegam ao estômago. Para auxiliar no processo de digestão, os *Teredinidae* possuem micro-organismos no seu estômago, que são bactérias que secretam enzimas que quebram a cadeia de celulose (AKAMINE et al., 2018).

Estas bactérias também são fixadoras de nitrogênio, o que fornece a quantidade de compostos nitrogenados que os indivíduos necessitam para a sua nutrição e não estão disponíveis na madeira (AKAMINE et al., 2018). Os mesmos autores afirmam ainda que além destas bactérias, não há registros de outros organismos que fazem simbiose com os teredos e sejam capazes de produzir a enzima celulase.

O orifício de entrada destes indivíduos é muito pequeno, apresentando entre 1 e 3 mm de diâmetro. Entretanto, à medida que seu corpo vai crescendo, as galerias aumentam proporcionalmente. Os tamanhos atingidos pelos indivíduos adultos e suas galerias podem variar de acordo com o índice de infestação por peça (STEINMAYER; TURFA, 1996).

Para penetrar na madeira, a larva não faz distinção se irá perfurar no sentido perpendicular ou paralelo à grã (STEINMAYER; TURFA, 1996). Os mesmos autores

afirmam que após a sua entrada na madeira completamente, as galerias são perfuradas seguindo a orientação da grã (STEINMAYER; TURFA, 1996).

O ambiente ideal para o desenvolvimento dos *Teredinidae* deve apresentar pelo menos 12% de salinidade, em regiões acima da linha de sedimentos, o que geralmente ocorre em uma profundidade máxima de 200 m (STEINMAYER; TURFA, 1996). A temperatura ideal da água é de 15°C a 25°C, sendo que acima de 30°C ou em temperaturas muito baixas, como em ponto de congelamento, podem causar a sua morte (STEINMAYER; TURFA, 1996). Apesar de serem conhecidos por ocorrer em locais de água salgada ou salobra, Boyle e Turner (1976) afirmam que existem duas espécies que foram identificadas em água doce, porém não citam quais.

A profundidade também influencia na ocorrência e quantidade de indivíduos de *Teredinidae*. Em um estudo para avaliar a influência desta variável, Silva, Silva e Junqueira (1988) constataram que a quantidade de representantes decrescia com o aumento da profundidade. Os autores instalaram coletores em área de enseada nas profundidades de 0,2, 2 e 4 metros, encontrando respectivamente 993, 290 e 200 indivíduos.

2.3.2.3 Identificação de indivíduos da família *Teredinidae*

As palhetas dos teredinídeos, apesar de terem um aspecto visual semelhante, possuem particularidades que ajudam a identificação das espécies. Em alguns casos são pequenos detalhes, mas em outros casos, elas podem ser completamente diferentes entre si. Na FIGURA 7 percebe-se a variedade de formas que as palhetas podem apresentar. A palheta da *Bankia fimbriatula* (FIGURA 7A) possui uma tonalidade marrom e os cones têm uma forma de “V” bem marcada; a palheta de *Bankia rochi* (FIGURA 7B) apresenta uma coloração branca, com cones mais arredondados e a palheta de *Bankia gouldi* (FIGURA 7C), apresenta cones mais achatados com um formato de “V” mais aberto que o de *B. fimbriatula*. Por outro lado, a palheta de *Lyrodus floridanus* (FIGURA 7D) apresenta um aspecto completamente diferente das demais, com uma lâmina sem segmentação e de cor escurecida bem característica.

FIGURA 7 – PALHETAS DE QUATRO DIFERENTES ESPÉCIES QUE FORAM UTILIZADAS PARA A IDENTIFICAÇÃO. ONDE A: *Bankia fimbriatula* Moll; Roch , B: *Bankia rochi* Moll, C: *Bankia gouldi* Bartsch , D: *Lyrodus floridanus* Bartsch



FONTE: A autora (2019)

2.3.3 Filo *Crustacea*

Dentre os crustáceos que causam danos à madeira, os principais perfuradores pertencem aos gêneros *Limnoria* e *Sphaeroma*. Sua forma de ataque se dá por erosão da porção deteriorada, que ocorre de fora para dentro da estrutura, diferentemente dos moluscos, que abrem suas galerias no interior da madeira (CLAUSEN, 2010).

Suas características morfológicas também são diferentes dos moluscos, apresentando um corpo rígido e encurvado, com a presença de pequenas patas e antenas. Na FIGURA 8 encontra-se um indivíduo de *Sphaeroma terebrans* Bate, pertencente ao grupo dos crustáceos perfuradores de madeira.

FIGURA 8 – INDIVÍDUO DE *Sphaeroma terebrans* Bate EM DOIS ÂNGULOS DIFERENTES PARA MELHOR VISUALIZAÇÃO DE SUAS ESTRUTURAS



FONTE: A autora (2019).

No continente americano, os crustáceos se distribuem principalmente nas áreas tropicais e subtropicais, visto que a temperatura é um dos fatores determinantes para a sua existência (BASTIDA; TORTI, 1972). A baixa salinidade se mostra como um impedimento para a distribuição destes organismos, sendo mais sensíveis a esta variável que os *Teredinidae* (BASTIDA; TORTI, 1972).

A salinidade também é um fator importante para determinar a sua presença, pois apesar da presença destes crustáceos ser abrangente, existem alguns locais de maior ocorrência devido a essa faixa de tolerância. A espécie *Limnoria tripunctata*, por exemplo, se concentra mais em áreas de maior salinidade pois, os indivíduos desse gênero têm menor tolerância a salinidades mais baixas, não conseguindo se adaptar. Por outro lado, as espécies do gênero *Sphaeroma* conseguem tolerar uma variação maior de salinidade (CRAGG et al., 1999; SINGH; SASEKUMAR, 1994).

Os crustáceos atacam a superfície da madeira exposta em ambiente marinho, deixando-a enfraquecida de maneira que pode se desprender facilmente pelo movimento da água e pela ação de micro-organismos e/ou cracas (WALKER, 2006). À medida que a madeira danificada vai sendo retirada, esses organismos penetram mais na peça para dar continuidade ao ataque, o que muitas vezes pode

caracterizar o ataque em forma de ampolheta em peças estruturais (WALKER, 2006).

Apesar de terem a capacidade de mudar a sua localização, costumam permanecer perfurando a mesma peça (CLAUSEN, 2010). Os indivíduos são diminutos (3 a 4 mm), mas quando existem muitos deles, a madeira fica mais vulnerável pela efetividade do ataque (CLAUSEN, 2010). As paredes que separam as galerias são muito finas e facilmente erodidas. Esta ação faz com que as espécies desse grupo perfurem cada vez mais fundo na madeira (CLAUSEN, 2010). Os crustáceos perfuradores são capazes de consumir cerca de 0,54 mg de madeira em aproximadamente dez dias (MENZIES; TURNER, 1957).

Estudos realizados comprovaram que espécies do gênero *Limnoria* podem causar danos consideráveis mesmo em estruturas de madeira que foram tratadas com creosoto, considerado um dos produtos preservativos mais resistentes contra a ação de agentes xilófagos. Pelo menos uma espécie deste gênero, *Limnoria tripunctata*, é conhecida por ser capaz de perfurar mesmo madeiras tratadas com creosoto (HOCHMAN et al., 1956; MENZIES; TURNER, 1957).

2.3.4 Brocas marinhas no Brasil

Como foi mencionado anteriormente, as brocas marinhas, de modo geral, têm preferência por regiões de clima tropical e subtropical. O Brasil está situado em uma região com estas características, sendo assim, é possível encontrar representantes das famílias *Pholadidae*, *Teredinidae* e *Limnoriidae* (MALDONADO; SKINNER, 2016). O litoral brasileiro pode ser dividido em duas porções: tropical Atlântico e temperado Atlântico Sul, que por sua vez, são subdivididas em ecorregiões (MALDONADO; SKINNER, 2016). O Paraná está inserido na ecorregião sudeste do Brasil, que abrange desde Cabo Frio até o Paraná (MALDONADO; SKINNER, 2016).

Em relação aos crustáceos perfuradores, Bastida e Torti (1972) citam a presença de diversas espécies na América do Sul. Especificamente no Brasil, os autores destacam a ocorrência de *Limnoria lignorum*.

Os moluscos da família *Teredinidae* estão presentes em maior número nas regiões tropicais, entretanto, possuem distribuição ampla em todos os oceanos. Na

costa brasileira, a fauna de teredos é constituída por espécies tropicais e subtropicais, exceto nas regiões Sul e Sudeste do Brasil, onde também existem espécies de clima temperado. Das 69 espécies documentadas, há registros de 25 espécies distribuídas em oito gêneros de ocorrência no Brasil (FREITAS; MELLO, 1999; LOPES; NARCHI, 1993). Em relação à família *Pholadidae* que perfuram madeira, quatro espécies foram documentadas na costa brasileira (LEONEL et al., 2002).

Na região Nordeste, as espécies *Teredo bartschi*, *Neoteredo reynei*, *Nausitora fusticula*, *Bankia fimbriatula* e *Martesia striata* foram registrados em uma área de estuário na Paraíba (LEONEL et al., 2002); *N. reynei*, *Psiloteredo healdi*, *N. fusticula*, *B. fimbriatula*, *T. bartschi*, *Lyrodus floridanus*, *Teredo clappi* e *Nototeredo* sp. no estado de Alagoas (FREITAS; MELLO, 1999); as espécies *N. reynei*, *Teredo turnerae*, *N. fusticula*, *Lyrodus massa*, *Bankia bagidaensis* e *B. fimbriatula* em Fortaleza, Ceará (VIDAL; ROCHA-BARREIRA, 2009).

Em estudo realizado em Cabo Frio (RJ), Maldonado e Skinner (2016) registraram a ocorrência das espécies *Teredo furcifera*, *T. bartschi*, *Lyrodus floridanus*, *Bankia gouldi*, *B. fimbriatula*, *Bankia destructa* e *Nototeredo knoxi* da família *Teredinidae*, e *M. striata* da família *Pholadidae*. Além desses, os autores também registraram crustáceos da espécie *L. tripunctata*.

Na região Sul, no litoral do Paraná, Müller e Lana (1986) registraram a ocorrência das espécies *L. floridanus*, *N. reynei*, *T. navalis*, *Bankia rochi*, *B. bagidaensis*, *T. bartschi*, *Teredo mindanensis*, *N. fusticula*, *B. gouldi* e *B. fimbriatula*. Müller e Lana (2004) citam os gêneros *Bankia*, *Teredo*, *Neoteredo* e *Nausitora* como sendo os de maior destaque dentre os que ocorrem região costeira do Paraná.

O estudo mais aprofundado dos perfuradores marinhos tem muita relevância, principalmente quando a população local da área de estudo pratica a atividade pesqueira. No litoral paranaense, por exemplo, a população conta com uma frota de embarcações de médio e pequeno porte, que na maioria das vezes são de fabricação artesanal de madeira (MÜLLER; LANA, 1986). Desta forma, as informações sobre o recrutamento e mecanismos de perfuração dos teredos, bem como sobre a resistência de madeiras, são fundamentais para estabelecer maneiras de controle e monitoramento das populações (MÜLLER; LANA, 1986).

2.4 PROBLEMAS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA CAUSADOS POR BROCAS MARINHAS

Apesar das distinções entre moluscos e crustáceos, o fato é que as brocas marinhas são muito eficientes para deteriorar madeira em contato com a água salgada ou salobra (KOLLMANN; CÔTÉ, 1968). Por este motivo, esses organismos geralmente estão associados a grandes incidentes por danificar embarcações e construções situadas em parques próximos ao mar e portos, resultando em grandes riscos de tombamento de estruturas, bem como no alto valor investido para a sua manutenção ou substituição.

Os problemas causados pelas brocas marinhas não estão restritos aos dias de hoje, pelo contrário, é algo que já prejudica as embarcações construídas em madeira há muito tempo. Segundo Johson (1996), no Egito, quarto milênio a.C., embarcações simples eram utilizadas para o transporte de produtos, aproveitando a correnteza e os ventos para se locomover pelo rio Nilo. Com o passar dos anos, os egípcios começaram a construir barcos de maior porte, para continuar transportando seus produtos, mas também para a locomoção de pessoas importantes, como os faraós. Para a construção do casco de barcos maiores, importavam cedro do Líbano (*Cedrus libani*) por ser uma espécie de maior resistência (JOHNSON, 1996).

Apesar dos avanços que a madeira trouxe com a construção de embarcações para os egípcios, existia a ocorrência de problemas com os perfuradores marinhos. Borojevic et al. (2010) citam a presença de danos causados tanto por crustáceos quanto por moluscos em vestígios de embarcações encontradas na costa do Mar Vermelho, no Egito. Os autores sugerem que estes organismos possam ter entrado em contato com os cascos dos barcos egípcios quando aportavam em costas de outros países, o que facilitou a dispersão das espécies.

Na tentativa de proteger os cascos das suas embarcações naquela época, os egípcios e os chineses passaram a revestir os cascos. Essas barreiras protetoras podiam ser coberturas de resinas ou tinta, além de adotar a prática de manter as embarcações fora da água por períodos regulares, de maneira a criar um ambiente desfavorável para os organismos (BORGES, 2014).

Outro exemplo de utilização de revestimento externo aconteceu na época das antigas embarcações comerciais que circulavam pelo Mediterrâneo, para tentar aumentar a vida útil da madeira, em que proteções de chumbo foram adicionadas aos cascos em certos períodos. Porém, o excesso de peso extra provocava dificuldades nas manobras e reduzia consideravelmente a velocidade, impedindo o seu uso em embarcações com necessidade de um deslocamento mais ágil. De tal forma que o seu uso seria inviável também para as grandes navegações, enviadas para outros continentes durante as explorações marítimas do século XV (BORGES, 2014; STEINMAYER; TURFA 1996).

Entretanto, o início do interesse para o estudo das brocas marinhas se deu devido a um incidente ocorrido em 1730, na Holanda. A região costeira do país estava sob ameaça de inundação devido à destruição dos diques de madeira na Província Zelândia, ao norte da Holanda e nas Ilhas Frísias Ocidentais, causada por perfuradores marinhos. Este foi o primeiro registro científico da espécie *Teredo navalis*, molusco marinho especializado em perfurar madeira. A crescente preocupação com o rompimento repentino desses diques despertou o interesse em buscar alternativas que aumentassem o tempo de vida útil da madeira, evitando a ocorrência desses possíveis acidentes (BORGES, 2014; PAALVAST; VAN DER VELDE, 2011).

Considerando a resistência natural da madeira, uma das espécies mais utilizadas para a construção de embarcações foi a teca (*Tectona grandis* Lf), devido às suas propriedades como densidade, alta resistência mecânica e estabilidade dimensional, além de elevada resistência natural. Em um estudo realizado em embarcações naufragadas na costa da Índia, análises anatômicas atestaram que o material resgatado era proveniente de madeira de teca. Durante os séculos 18 e 19, os britânicos utilizavam madeira de teca para construção naval. Para garantir um estoque de matéria prima, implantaram povoamentos da espécie na Índia (BRAGA JÚNIOR et al., 2019; FIGUEIREDO; SÁ, 2015).

Em relação aos prejuízos financeiros causados pelas brocas marinhas, Menzies e Turner (1957) destacaram que nos Estados Unidos, danos causados por crustáceos e moluscos chegavam a cinquenta milhões de dólares por ano na década de 50. Reportaram ainda dois incidentes que geraram grandes prejuízos na

Baía de São Francisco entre os anos de 1917 e 1919 e posteriormente a queda de uma ponte em Nova Jersey.

No ano de 2011, o jornal *The New York Times* noticiou um grande prejuízo financeiro causado pelas brocas marinhas. O Parque *East River*, situado em Nova Iorque, precisou de uma reforma para a substituição de 14 mil estacas de madeira que apodreceram pela ação dos perfuradores marinhos. As estacas em questão foram removidas e substituídas por suportes de concreto revestidos em aço, totalizando um investimento de US\$ 65 milhões para a realização desta obra. A mesma notícia cita ainda o ocorrendo no Parque *Brooklyn Bridge*, em que foram gastos US\$ 11 milhões para revestir as estacas sob um píer com concreto e estimando o valor de US\$ 200 milhões para conseguir revestir as 12 mil estacas do parque. Em 2018, nos portos de Nova Iorque e Nova Jersey, devido ao problema com o enfraquecimento de estruturas causados por brocas marinhas, foi gasto um valor de US\$ 6,2 milhões para revestir 294 estacas de madeira com concreto (FODERARO, 2011; HU, 2019).

Esses incidentes são apenas alguns dentre muitos outros causados pelas brocas marinhas, normalmente associados a grandes prejuízos. Além disso, percebe-se também que foram utilizadas diferentes alternativas na tentativa de aumentar a durabilidade da madeira, como revestimentos externos. Aparentemente, segundo as situações citadas anteriormente, acredita-se que a maneira mais efetiva é revestir as estacas com aço e concreto, ou seja, a maneira mais simples é recorrer a outros tipos de materiais para contornar o problema.

2.5 TÉCNICAS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA

Devido aos problemas associados à madeira, outros tipos de materiais passaram a ter preferência para a utilização em ambientes marinhos, como concreto e aço, que têm sido empregados para esta finalidade em países como os do Reino Unido e Portugal (BORGES, 2014). Entretanto, as características apresentadas pela madeira, bem como o seu baixo custo de produção em comparação a outros materiais e o apelo ambiental e renovável associados à esta matéria-prima, demonstram a importância de encontrar uma alternativa para o problema exposto,

de maneira que possa ser considerada como matéria-prima em potencial para construções marinhas (BORGES, 2014).

A criação de revestimentos com materiais como plástico, concreto ou metal, é outra alternativa que vem sendo utilizada como medida emergencial. Porém, qualquer dano causado a esta cobertura fornecerá passagem para a entrada dos organismos, deixando a madeira novamente exposta. Caso isto ocorra, a existência desses revestimentos dificultará a identificação dos danos, pois a parte externa dará um falso aspecto de normalidade (SOUTHWELL; BULTMAN, 1971).

Uma maneira de proteger as embarcações do ataque das brocas marinhas é a alternância de ambientes. Como estes organismos se desenvolvem em ambientes marinhos que possuem faixas de salinidade e temperatura específicas, quando são expostos a uma situação diferente, podem não conseguir se adaptar e morrer. Desta forma, as embarcações são levadas para permanecer por algum tempo em rios, onde não há salinidade, o que torna o ambiente inóspito para os perfuradores marinhos (MORESCHI, 2013a).

No entanto, nem sempre existe a possibilidade de realizar este tipo de manutenção preventiva, principalmente quando se trata de estruturas fixas, reafirmando a necessidade da utilização dos produtos preservativos e/ou técnicas de proteção. A escolha tanto do método de proteção quanto do produto preservativo se baseia em uma série de critérios, de maneira a escolher a combinação mais adequada para a finalidade que a madeira está destinada. Entre os itens a serem considerados, os mais importantes são o tipo de madeira (cerne ou alburno), o tipo de ambiente que será exposta (interno ou externo), se terá contato com o solo ou com o mar e os recursos que se tem para a aplicação do produto (MORESCHI, 2013 b).

2.5.1 Medidas preventivas

Quando se utiliza a madeira de cerne para a construção, principalmente as embarcações fabricadas com madeira de alta resistência natural, a aplicação de produtos preservativos por pressão se torna inviável. Neste tipo de madeira não é possível fazer tratamentos com autoclave, pois o cerne não dispõe de espaços vazios como o alburno (MORESCHI, 2013b). Sendo assim, a melhor maneira de

proteger a madeira nessa situação é criar um revestimento de superfície, normalmente com tintas e impermeabilizantes.

Segundo Risi (2017), há dois tipos de acabamentos que podem ser utilizados nessas situações, que são os que penetram na madeira por pressão e os que formam uma camada na superfície do material. O autor afirma que o primeiro tipo seriam produtos hidrofóbicos, impregnados na madeira por pressão de autoclave, com a intenção de preencher as células do lúmen e evitar a troca de umidade. As camadas protetoras reduzem as chances de deterioração da madeira, principalmente quando em ambiente externo. O mesmo autor destaca ainda que estes produtos auxiliam no controle da variação de umidade, criando uma barreira para evitar a troca de umidade com o ambiente.

A formulação dos produtos utilizados para repelir a água são diversas, mas geralmente eles apresentam uma pequena quantidade de cera ou resina combinada com algum solvente (RISI, 2017). A parafina é um bom exemplo de substância hidrofóbica, que quando impregnada na madeira, ajuda a evitar a absorção de umidade pelo material (RISI, 2017). Como a parafina não é solúvel em água, não sendo lixiviado com facilidade, fornecerá uma boa proteção para a madeira em condições externas e de alta umidade, pois se fixa bem às fibras da madeira, tornando-a muito eficiente para repelir a água (RISI, 2017).

Muitos produtos à base de parafina vêm sendo utilizados para melhorar a estabilidade dimensional da madeira em serviço, normalmente impregnando a madeira com ceras derretidas em altas temperaturas, com vácuo e pressão (XIE et al., 2013). Em estudo realizado por Lesar e Humar (2011), foi observado que madeiras de faia e abeto impregnadas com ceras apresentaram resistência a fungos de podridão branca e podridão parda. Os autores afirmam que este resultado pode ser um indicativo que a utilização de ceras, como a parafina, possam conferir resistência para a madeira contra organismos que necessitem de umidade acima do ponto de saturação das fibras (PSF) para atacar a madeira.

Quando não se tem a possibilidade de realizar um tratamento por pressão na madeira, pode-se optar pela segunda alternativa, que é criar uma camada protetora com algum produto que não permita a passagem da umidade. Esses produtos normalmente podem ser aplicados na superfície com mais facilidade, por pincelamento, imersão ou pulverização, sendo mais prático e acessível.

Os impermeabilizantes têm a função de impedir a absorção de água pelas fibras da madeira (RISI, 2017), sendo muito indicado para o tratamento de madeiras para uso externo. Desta forma, a madeira não terá contato com o ambiente externo, tampouco apresentará o teor de umidade necessário para o estabelecimento de organismos xilófagos, ou seja, estará protegida.

Outra forma que a literatura sugere de evitar que a umidade entre na madeira para protegê-la de brocas marinhas é pela utilização de produtos hidrofóbicos. Um exemplo de produto com essa característica é o óleo queimado, que ao longo dos anos foi aplicado em peças de madeira destinadas ao ambiente externo, como mourões, cercas e outras estruturas. Sua utilização é popular entre pequenos produtores, devido à sua facilidade de aplicação e o baixo custo de obtenção (GALLON et al., 2014; MATTOS et al., 2013).

Apesar de não ser comercializado como produto preservativo, o óleo queimado pode criar uma camada protetora na madeira durante algum tempo, desde que a sua aplicação seja feita de maneira adequada. Sendo assim, devido à sua característica de impedir a entrada da umidade na madeira, é utilizado em tratamentos não-industriais de madeiras que ficarão expostas a condições em ambiente externo (SSEMAGANDA; MUGABI; TUMWEBAZE, 2011; MATTOS et al., 2013). Vale salientar que, fazer o uso deste produto para a preservação da madeira, ajuda a dar destinação a um resíduo da indústria automotiva, contribuindo para a redução do acúmulo ou descarte incorreto deste tipo de rejeito (MATTOS et al., 2012; SOUZA et al., 2016). Alguns autores destacam o óleo queimado como sendo um produto com potencial de aumentar a resistência da madeira a agentes xilófagos (GALLON et al., 2014; MATTOS et al., 2013; SSEMAGANDA; MUGABI; TUMWEBAZE, 2011).

Existem tratamentos convencionalmente realizados por meio de vácuo/pressão, que são efetivos até certo ponto para proteger a madeira contra os moluscos (CRAGG et al., 1999). Entretanto, os mesmos autores afirmam que quando se trata dos crustáceos, este tipo de tratamento não se mostra tão efetivo.

Esses tratamentos com autoclave são considerados como os mais indicados para proteger a madeira de baixa durabilidade natural que será utilizada em estruturas fixas no mar, pois possibilita a melhor penetração e retenção do produto preservativo na madeira. Dentre os produtos presentes no mercado, o arseniato de

cobre cromatado (CCA) é bastante aplicado para esta finalidade. Este produto está classificado na categoria AWWA UC5, como sendo indicado para estruturas que estão em contato direto com a água salgada ou salobra. Em estudos realizados em Madison, pelo Laboratório de Produtos Florestais (FLP), os pesquisadores chegaram ao resultado de que a retenção de 40 kg m⁻³ de CCA para madeiras oferece uma boa proteção. Entretanto, caso haja a presença da espécie de crustáceo *Sphaeroma terebrans*, essa quantidade de produto precisa ser dobrada para melhores resultados. Os mesmos pesquisadores indicam o creosoto aplicado por célula cheia como sendo o mais eficiente contra brocas marinhas, sendo recomendado o tratamento duplo caso haja a presença de *L. tripunctata* e *Pholadidae* (LEBOW, 2010; SOUTHERN FOREST PRODUCTS ASSOCIATION, 2014).

O tratamento com CCA é geralmente o mais citado para proteger a madeira em ambiente marinho, principalmente em substituição ao creosoto, devido às preocupações ambientais que o uso deste pode causar (HINGSTON et al. 2001). Entretanto, o uso do CCA já é mais limitado mesmo para construções navais, em alguns locais como na Europa, pelos riscos que pode trazer à saúde das pessoas e causar impactos ambientais (BORGES, 2014). Como esses produtos preservativos contêm componentes prejudiciais, acaba dificultando o seu descarte após finalizar a vida útil do material, precisando encontrar alternativas de proteção menos nocivas (GONZÁLEZ-LAREDO et al, 2015). Sendo assim, faz-se necessário o estudo de outros produtos aplicados pelo método de célula cheia, na busca para encontrar novas opções para substituir o uso do CCA e do creosoto.

Além do método industrial, há outros métodos mais artesanais para tratar a madeira, aplicados sem a necessidade de equipamentos industriais. Um deles é o banho quente-frio, que é realizado, resumidamente, imergindo a madeira em uma solução preservativa aquecida por até seis horas e em seguida, transferindo-a para outro recipiente contendo a mesma solução resfriada por, pelo menos, duas horas. Esta alteração repentina de temperatura causa um vácuo parcial nas células, que ajuda a forçar a entrada do preservativo na madeira, fornecendo uma melhor penetração e retenção do produto (MENDES; ALVES, 1988).

Para executar esse procedimento, é necessário que a madeira esteja seca e sem casca. Além disso, é preciso que o recipiente seja grande o suficiente para que o produto preservativo possa cobrir completamente as peças a serem tratadas. A

etapa do aquecimento deve ser feita com muito cuidado, principalmente devido à inflamabilidade dos produtos preservativos oleosos, para que não ocorram acidentes (GALVÃO; MAGALHÃES; MATTOS, 2004)

O método de tratamento por imersão também pode ser executado de maneira simples, consiste em posicionar a madeira em um recipiente contendo a solução preservativa, onde permanece por um período pré-estabelecido. Este tempo pode variar de alguns segundos até dias; entretanto, a maior quantidade do produto será absorvida nas primeiras 24 horas e em seguida, a absorção será estabilizada (GALLON et al., 2014). É muito indicado para peças de pequenas dimensões e com baixo percentual de umidade (GALLON et al., 2014). Tem a vantagem de não requerer mão de obra especializada, devido à sua facilidade de execução.

O *Shou sugi ban* ou *Yakisugi* é uma técnica japonesa, baseada na carbonização superficial da madeira, a fim de criar uma camada protetora contra a ação da umidade, dificultando a sua absorção (ŠPILÁK et al., 2018). Desta forma, a camada carbonizada reduz a suscetibilidade da madeira a organismos xilófagos, como fungos. Devido a esta característica, a técnica é indicada pela literatura para uso em postes de madeira antes de serem enterrados no solo (EBNER; STELZER; BARBU, 2019). Esta técnica antiga tem sido aplicada com a finalidade de proteger a madeira baseada apenas no conhecimento popular, Kymäläinen et al. (2017) afirmam que , até o ano de 2017 não existiam estudos científicos atestando a efetividade científica da técnica.

Quando a madeira passa pelo processo de pirólise, a hemicelulose e a celulose amorfa são degradadas, reduzindo a higroscopicidade da madeira. Por causa disso, a madeira carbonizada se torna mais hidrofóbica que a madeira *in natura* e, conseqüentemente, apresentará maior resistência ao ataque de organismos xilófagos (KYMÄLÄINEN et al. 2017). Entretanto, vale ressaltar que essa possível resistência ocorrerá apenas na superfície da peça, uma vez que o interior da madeira permanecerá *in natura*.

Desta forma, a possibilidade dessa técnica melhorar a resistência da madeira contra a ação de xilófagos se baseia em suposições a partir das alterações químicas que ocorrem na superfície da madeira. Portanto, faz-se necessária a

realização de ensaios laboratoriais e de campo que possam explorar essa técnica e explicar o seu funcionamento cientificamente.

2.6 USO DE EQUIPAMENTOS PARA AVALIAÇÃO DO ATAQUE DE XILÓFAGOS EM ESTRUTURAS DE MADEIRA

Para a identificação de problemas em estruturas de madeira causados por agentes xilófagos, os equipamentos de raios-x têm sido amplamente utilizados. As imagens provenientes de radiografias possibilitam a visualização de danos causados por organismos biodeterioradores como, por exemplo, colônias de cupins (HIMMI et al., 2016) ou estimar a área ocupada por micélios de fungos apodrecedores (ALFIERI; CORREA, 2017).

A partir de estudos realizados com estes organismos, foi comprovada a possibilidade de aplicar a radiografia para uma primeira avaliação da estrutura (WEDVIK et al., 2016). Isto facilita a tomada de decisão, ajudando a determinar se há necessidade de executar medidas preventivas ou corretivas, como a substituição da peça, por exemplo (WEDVIK et al., 2016). Os mesmos autores afirmam que os métodos não destrutivos, como os raios-x, são ferramentas úteis para avaliar o interior das peças de madeira, principalmente quando a remoção de uma amostra para análise em laboratório é inviável. Entretanto, avaliações por radiografias possuem limitações apesar de identificar a área que foi perdida, permitindo a visualização do dano, mas não sua quantificação.

Especificamente em se tratando de estruturas atacadas por brocas marinhas, a Norma EN 275 (1992), que descreve ensaios para estudar a biodeterioração causada por moluscos e crustáceos, sugere a estimativa da área infestada a partir da visualização de imagens radiografadas por um grupo de pessoas. Este tipo de determinação, além de ser muito subjetiva, pode ser imprecisa, visto que o percentual pode diferir de acordo com a opinião dos diferentes avaliadores.

As avaliações subjetivas dificultam uma maior precisão do grau de ataque para o desenvolvimento de estudos científicos. Além disso, muitas vezes algum detalhe pode ser perdido pela visualização das radiografias, que geralmente são em

escala de cinza causando dúvidas em caso de tonalidades muito próximas, o que pode ser minimizado com técnicas de tratamento de imagens.

A dificuldade em identificar a presença das brocas marinhas no início do ataque também é um ponto importante, por ser discreto e apresentar galerias pouco extensas. Por este motivo, acrescentar uma etapa para o tratamento das imagens radiografadas auxilia no agrupamento de pixels semelhantes e desta forma, na quantificação da área infestada.

Como o tratamento de radiografias para quantificar os danos em estruturas não é uma prática utilizada, consequentemente, não se tem programas apropriados para esta finalidade. Entretanto, existem programas que podem ser utilizados com este objetivo, como os que normalmente são utilizados para fins de geoprocessamento, desde que sejam feitas as adequações necessárias.

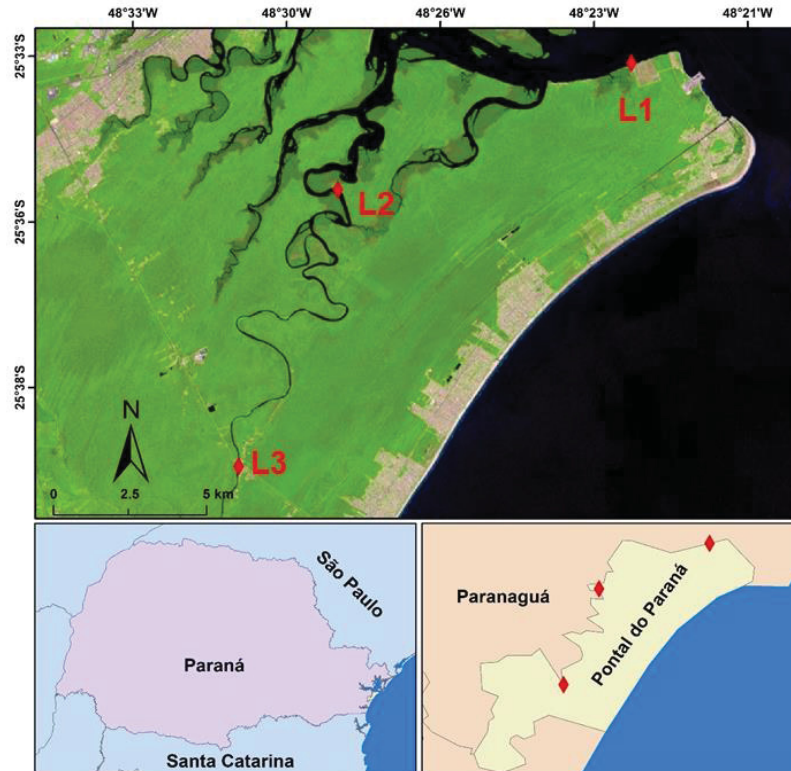
3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está situada no município do Pontal do Paraná, inserido na microrregião do Litoral do Estado do Paraná que se estende desde o rio Ararapira (divisa com São Paulo) até o rio Saí-Guaçu (próximo a Santa Catarina) (SAMPAIO, 2006). Este município se encontra a aproximadamente 100 km de Curitiba, faz divisa com Paranaguá e Matinhos e a sua orla é banhada pelo Oceano Atlântico (SAMPAIO, 2006).

Na medida em que as taxas de infestação de teredos são reconhecidamente afetadas pelos regimes de salinidade, foram definidos três pontos de testagem ao longo de um marcado gradiente estuarino-fluvial. O primeiro ponto (L1), junto ao antigo canteiro da empresa FEM, é costeiro e está localizado nas dependências da Marina Ponta do Poço (-25.548608 N;-48.387937 W), no setor euhalino de alta energia da Baía de Paranaguá, com salinidades em geral superiores a 30. O segundo ponto (L2) está localizado no terço inferior do Rio Guaraguaçu (-25.588541 N; -48.482628 W), em área ainda sujeita à penetração da cunha salina, com características eurihalinas e marcadas variações de salinidade. O terceiro ponto (L3) está localizado no curso superior do Rio Guaraguaçu, nas dependências da Marina Paraíso, situada às margens do rio Guaraguaçu (-25.672076 N;-48.513844 W), com características oligohalinas e sem influência da cunha salina, como mostra a FIGURA 99.

FIGURA 9 – MAPA DEMONSTRANDO A DEMARCAÇÃO DOS PONTOS EM QUE ESTIVERAM INSTALADAS AS ESTRUTURAS DURANTE O EXPERIMENTO. ONDE: L1 – PRIMEIRO PONTO, PRÓXIMO À COSTA; L2 – SEGUNDO PONTO, NO TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU; L3 – TERCEIRO PONTO, NO CURSO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU



FONTE: A autora (2019).

O objetivo de posicioná-los desta forma foi de avaliar o comportamento dos tratamentos aos diferentes tipos de brocas marinhas. Isto se deve ao fato de as espécies de brocas marinhas apresentarem distintas preferências ao gradiente de salinidade. As estruturas as quais os corpos de prova foram amarrados, foram posicionadas de maneira que ficassem completamente submersas na água e na mesma profundidade.

O material foi acompanhado através de visitas mensais à área para visualização e análise do estado de deterioração dos corpos de prova. O experimento teve a duração de treze meses, para que o material permanecesse exposto às condições ambientais durante as quatro estações do ano.

3.2 PREPARO DO MATERIAL E INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

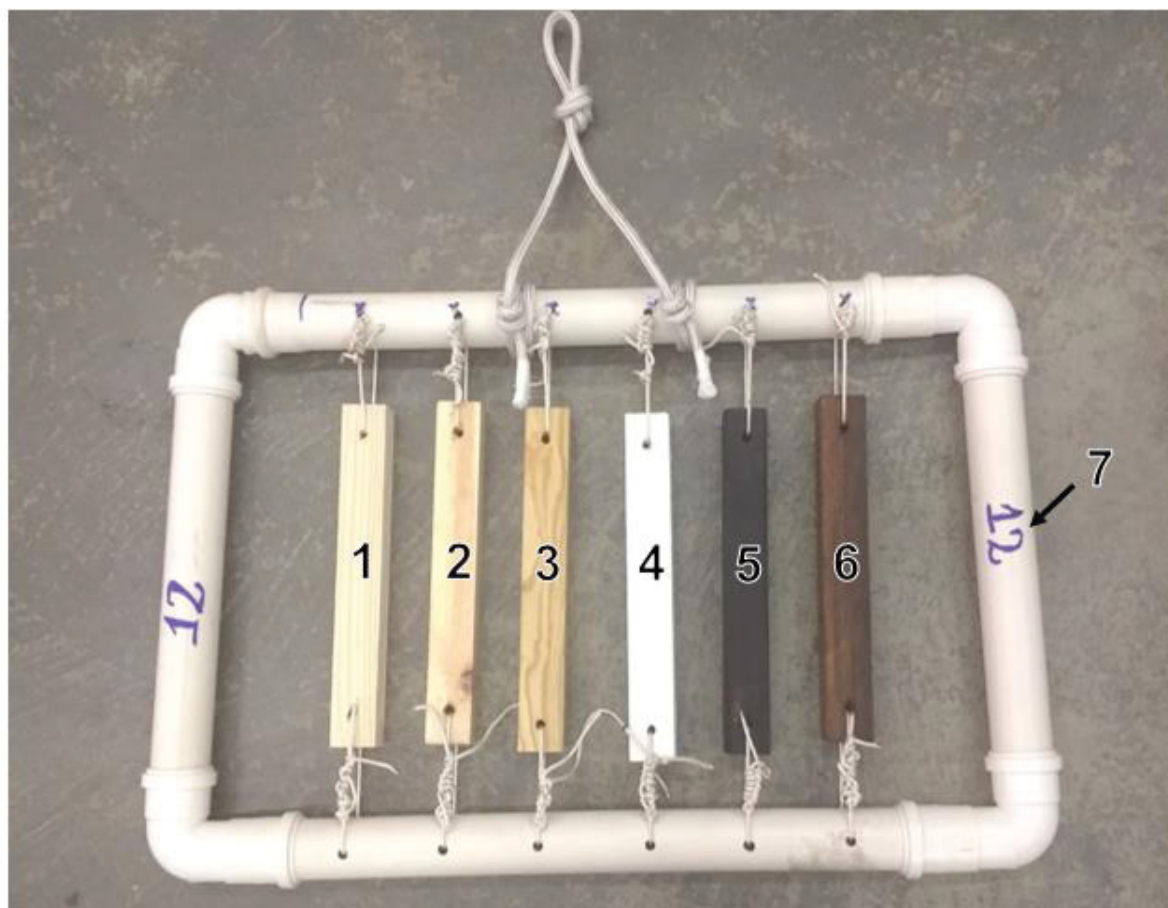
Este experimento foi realizado de acordo com a norma EN 275 (1992), desde o preparo do material até a condução das atividades práticas, com adaptações quando necessário. Os corpos de prova utilizados para este estudo foram de *Pinus taeda* L., nas dimensões 4,5 cm x 4,5 cm x 30 cm. A madeira utilizada apresentava a umidade estabilizada com o ambiente e estava seca ao ar, não apresentava a presença de nós, medula ou qualquer outro tipo de defeito que pudesse causar heterogeneidade entre os corpos de prova.

Cinco tratamentos para a preservação da madeira foram utilizados, sendo eles: impregnação com parafina, borracha impermeabilizante com e sem a adição de sílica, aplicação de óleo queimado pelo método de banho quente-frio e a técnica *Shou sugi ban*. Além disso, foram incluídos corpos de prova sem nenhum acabamento (testemunhas), pois como a madeira de pinus é mais suscetível ao ataque das brocas marinhas, serviram como controle experimental.

Após a aplicação dos diferentes tratamentos, os corpos de prova foram presos em estruturas confeccionadas com canos de PVC e preenchidas com pedra brita, pesando em média 10kg. Cada estrutura foi montada de maneira a conter um representante de cada tratamento.

Todas as estruturas seguiram o mesmo padrão de organização dos corpos de prova, como exposto na FIGURA 10. À esquerda foi fixada a testemunha, seguida pelos os tratamentos com borracha impermeabilizante, parafina, borracha impermeabilizante com a adição de sílica, método *Shou sugi ban* e óleo queimado.

FIGURA 10 – PADRÃO DE ORGANIZAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA NA ESTRUTURA DE PVC, COM A PRESENÇA DE TODOS OS TRATAMENTOS, ONDE: 1: TESTEMUNHA; 2; BORRACHA IMPERMEABILIZANTE; 3: PARAFINA; 4: BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM A ADIÇÃO DE SÍLICA; 5: *SHOU SUGI BAN*; 6: ÓLEO QUEIMADO; 7: IDENTIFICAÇÃO DA ESTRUTURA PARA CONTROLE DO EXPERIMENTO



FONTE: A autora (2019).

Em cada local, quatro estruturas foram posicionadas, totalizando doze estruturas. Sendo assim, cada tratamento possuía doze representantes, sendo quatro repetições em cada local.

3.3 MÉTODOS DE PROTEÇÃO DA MADEIRA

Para a realização deste experimento, foram escolhidos métodos considerados caseiros (banho quente-frio, imersão, *Shou sugi ban*) e industriais (impregnação por autoclave), que baseados na revisão de literatura, poderiam ser promissores para a proteção da madeira em ambiente marinho.

A escolha dos produtos preservativos se deu também com base nas pesquisas bibliográficas, mas também na observação do que está sendo usado no mercado. A literatura indica o óleo queimado como um biocida alternativo (GALLON et al., 2014; MATTOS et al., 2013), mas não menciona o seu potencial para uso em ambiente marinho. Por outro lado, a parafina é indicada como um produto promissor pela sua característica hidrofóbica, porém não foram encontrados trabalhos avaliando o seu desempenho utilizando a aplicação por autoclave.

A borracha impermeabilizante é um produto que já está no mercado, apresentando um bom desempenho para a proteção de materiais como o aço, contra a ação do ambiente, principalmente para evitar oxidação pelo contato com a chuva. Desta forma, surgiu o interesse de testar esse material na sua formulação comercial, bem como com a adição de sílica para verificar se há algum aumento no efeito de proteção.

3.3.1 Banho quente-frio

O produto utilizado neste tratamento foi óleo queimado, aplicado na madeira utilizando o princípio do método do banho quente-frio. Inicialmente, os corpos de prova foram distribuídos em um galão metálico de 20 L, posicionados sob um peso para não flutuarem durante a aplicação do tratamento. O óleo foi depositado no galão até atingir um volume que deixasse os corpos de prova completamente submersos.

Em seguida, o galão foi levado para uma estufa a 60°C para o aquecimento do óleo em temperatura controlada, onde permaneceu por seis horas. Apesar da literatura sugerir que esta etapa seja realizada em temperaturas na faixa de 90 a 100°C, foram realizados testes prévios em que o óleo teve uma boa penetração na temperatura de 60 °C. Além disso, não havia disponibilidade de um equipamento que alcançasse maiores temperaturas com a devida segurança que o processo requer. A etapa de aquecimento permitiu a redução da viscosidade do óleo, facilitando a penetração na madeira, além de proporcionar um vácuo parcial pela expansão do ar nos lumens das células.

Após o período de aquecimento, os corpos de prova foram transferidos para outro galão metálico contendo óleo queimado frio (temperatura ambiente), onde permaneceram por mais seis horas (FIGURA 11). Esta etapa foi realizada com a

intenção de fornecer um choque térmico no material, facilitando a penetração do produto na madeira. Por fim, os corpos de prova foram secos ao ar e posteriormente fixados na estrutura de PVC.

FIGURA 11 – CORPOS DE PROVA POSICIONADOS NO GALÃO METÁLICO PARA A ADIÇÃO DO ÓLEO QUEIMADO



FONTE: A autora (2019).

3.3.2 Impregnação em autoclave – Processo Bethell

Este tratamento utilizou uma solução de impregnação utilizada é composta por uma emulsão hidrossolúvel de ácidos graxos a base de parafina, com retenção de 13,36Kg/ m³. O produto foi aplicado na madeira pelo processo Bethell (célula cheia), utilizando uma autoclave industrial de capacidade nominal de 16 m³ de solução impregnante. Esta metodologia foi desenvolvida com o intuito de melhorar a estabilidade dimensional do material.

O processo de tratamento empregado foi o método Bethell, que segundo Mendes e Alves (1988), consiste na aplicação de um vácuo inicial (600 mm/Hg) para a retirada do ar contido nos lúmens celulares, seguida da aplicação de pressão (105 N/mm²) para forçar a entrada do produto preservativo na madeira. Por fim, é

realizado um vácuo final (400 mm/ Hg) para a retirada do excesso do produto. Ao terminar o procedimento, os lúmens permanecem preenchidos com a solução preservativos (MENDES; ALVES, 1988; MORESCHI, 2013b).

Este material foi cedido por uma empresa e está em fase de testes para outras finalidades. Por se tratar de um material sigiloso, não foram fornecidas mais informações sobre o produto ou quantidade aplicada.

3.3.3 Imersão

Este método de aplicação foi utilizado para os produtos borracha impermeabilizante (produto comercial) e mesma borracha, mas com a adição de sílica. Segundo a ficha de informações do fabricante, esta borracha impermeabilizante é composta por dióxido de titânio (5%), agalmatolito (5%), xileno (15%), gás butano (15%), gás propano (50%) e componentes não voláteis (10%), sendo este o segredo de fábrica.

Em uma bandeja de alumínio, o produto foi derramado em uma quantidade suficiente para submergir completamente uma das faces do corpo de prova (FIGURA 12). Desta forma, cada face do corpo de prova permaneceu cerca de um minuto em contato com o produto, permitindo que a sua superfície fosse plenamente coberta, sempre evitando a formação de bolhas de ar entre a superfície da madeira e o revestimento. O mesmo procedimento foi repetido com os topos dos corpos de prova.

FIGURA 12 – TRATAMENTO POR IMERSÃO SIMPLES DO CORPO DE PROVA UTILIZANDO A BORRACHA LÍQUIDA, DE COLORAÇÃO TRANSLÚCIDA



FONTE: A autora (2019)

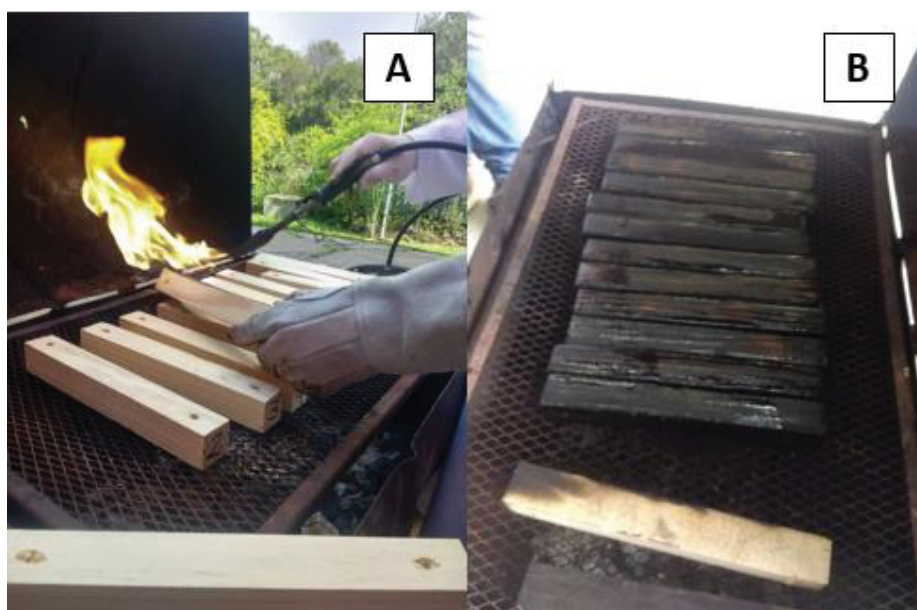
Após a adição de cada demão do produto, os corpos de prova foram postos para secar ao ar, onde permaneceram até secar completamente. Cada corpo de prova recebeu quatro demãos do produto.

3.3.4 Tratamento por queima superficial (*Shou sugi ban*)

Este tratamento foi realizado utilizando a técnica japonesa *Shou sugi ban*, que consiste na queima superficial da madeira e aplicação de óleo queimado a fim aumentar a sua resistência. Segundo o princípio de que essa técnica se baseia, a camada carbonizada irá proteger a madeira pela diminuição da absorção da umidade.

Para isto, uma primeira queima foi executada na superfície do corpo de prova utilizando um maçarico (FIGURA 13A), a qual foi raspada com uma escova metálica para a abertura de sulcos. Em seguida, óleo queimado foi pincelado sobre essa superfície para penetrar nos sulcos e uma nova queima com o maçarico foi realizada (FIGURA 13B). Este procedimento foi executado três vezes em cada superfície e nos topos dos corpos de prova.

FIGURA 13 – APLICAÇÃO DA TÉCNICA *SHOU SUGI BAN* NOS CORPOS DE PROVA DE *Pinus taeda*. ONDE A: QUEIMA INICIAL DOS CORPOS DE PROVA COM UM MAÇARICO; B: CORPOS DE PROVA APÓS A RASPAGEM E ADIÇÃO DE ÓLEO QUEIMADO



FONTE: A autora (2019).

3.4 AVALIAÇÃO DA ÁREA CONSUMIDA

A remoção dos corpos de prova foi realizada à medida que estes apresentavam estado avançado de deterioração em campo, principalmente quando possuíam grande desgaste na região presa pela corda de fixação na estrutura. Após retirados da água, os corpos de prova foram acondicionados em galões contendo álcool (70%), para conservar o material biológico contido no seu interior.

Em situações que as incrustações biológicas estavam dificultando a visualização do corpo de prova, foi realizada uma raspagem para retirar essa camada de calcário. Esta ação foi de grande importância, pois a presença das cracas pode interferir na etapa das radiografias, criando uma barreira e impossibilitando a avaliação interna do corpo de prova.

3.4.1 Radiografias dos corpos de prova

Oportunamente, os corpos de prova foram radiografados, como determinado pela EN 275 (1992), utilizando-se um equipamento de raios-x portátil (FIGURA 14A) e um scanner do modelo ScanView CR-S (FIGURA 14B).

FIGURA 14 – EQUIPAMENTOS UTILIZADOS PARA A CAPTURA DAS RADIOGRAFIAS ONDE A: EQUIPAMENTO DE RAIOS-X PORTÁTIL POSICIONADO A UM METRO DE DISTÂNCIA DO CORPO DE PROVA E DA CHAPA DE CAPTURA DA IMAGEM; B: SCANNER QUE REALIZA A DIGITALIZAÇÃO DA IMAGEM OBTIDA PELA CHAPA DE CAPTURA DA IMAGEM



FONTE: A autora (2019).

A intensidade do raio foi ajustada em função do grau de deterioração de cada corpo de prova. Para os corpos de prova com menor perda de área visível foram aplicados 13 pulsos e para aqueles mais fragmentados, 10 pulsos. O equipamento capta a imagem radiografada pela densidade da peça exposta à emissão de radiação. Quanto menor a densidade do corpo, menos pulsos de radiação eram aplicados para melhor visualização. Sendo assim, estes valores foram determinados por meio de tentativa e erro, até ajuste das imagens que fornecessem melhor visualização em cada situação mencionada.

Cada corpo de prova teve as quatro faces radiografadas individualmente, de maneira a se ter a visão de todos os lados. Este procedimento foi realizado para garantir que a maior quantidade possível de galerias, no interior do corpo de prova, fosse visualizada na radiografia.

3.4.2 Tratamento das imagens

As imagens obtidas pelas radiografias foram tratadas pelo *software* gratuito QGIS® versão 3.8 (Zanzibar), para posterior determinação da área deteriorada em cada face do corpo de prova. Para isto, foi criado um gabarito no software com as dimensões iniciais do corpo de prova, que foi combinado com cada imagem radiografada. Este procedimento foi essencial, pois as imagens oriundas da radiografia não possuem escala e através do processo de sobreposição de camadas e o gabarito com os pontos referenciados, foi possível adicionar escala às imagens. Para tal, foi utilizado um *plugin open source* de classificação supervisionada, denominado *Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)*.

Em seguida, as imagens já escalonadas, foram inseridas no software e submetidas a uma análise de *Clusters*, onde os *pixels* presentes na imagem foram classificados em escalas de cores, criando camadas pelo agrupamento dos *pixels* de tonalidades iguais (FIGURA 15). Posteriormente, as camadas de *pixels* que não correspondiam à madeira remanescente foram desconsideradas na avaliação, ou seja, excluídos.

FIGURA 15 – CAMADAS DE CORES CRIADAS A PARTIR DO AGRUPAMENTO DE *PIXELS* NO SOFTWARE QGIS®, EVIDENCIANDO O CORPO DE PROVA NO CENTRO DA IMAGEM, EM VERMELHO



FONTE: A autora (2019)

Após isolada das demais, a área da camada de madeira remanescente foi quantificada, em cm^2 , contabilizando as áreas dos polígonos, obtidos no processo anterior. O mesmo procedimento foi realizado para cada face do corpo de prova, sendo obtida uma média a partir dos valores para a estimativa da área deteriorada. A imagem inicial possibilitou a classificação a partir da tonalidade de cada agrupamento de *pixels*, atribuindo-se uma cor a cada agrupamento. Esta etapa possibilitou a visualização das diferentes camadas presentes no corpo de prova.

3.4.3 Quantificação da área consumida

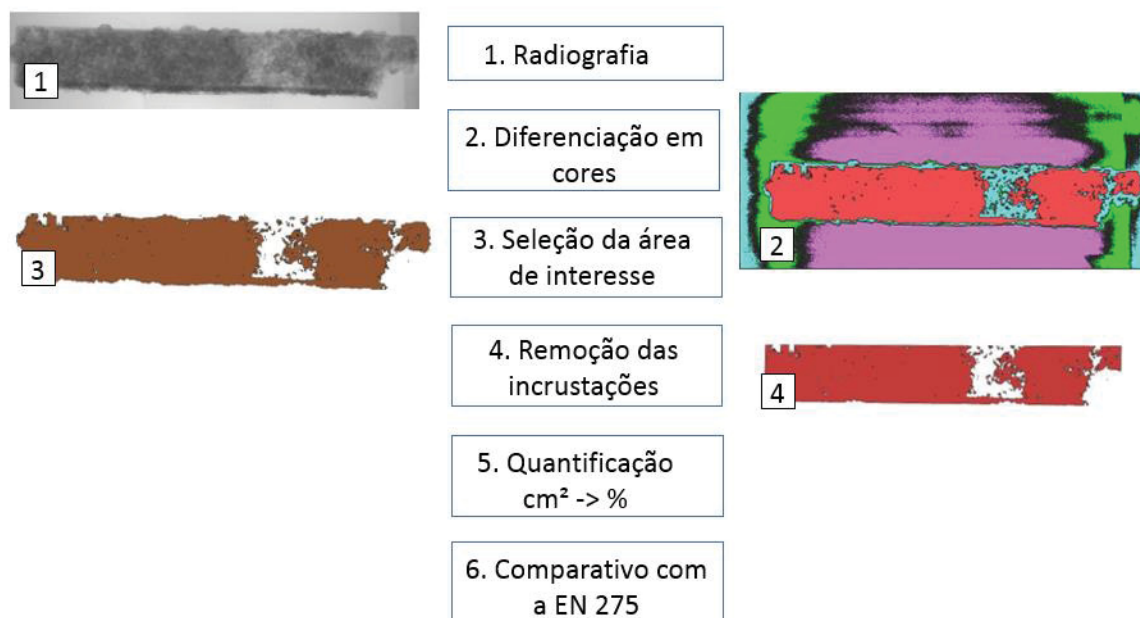
A partir da imagem radiografada, a primeira etapa para a determinação do percentual de área deteriorada do corpo de prova, foi obtida a partir da imagem que possibilitou a classificação da tonalidade que cada agrupamento de *pixels* apresentava. Como as radiografias fornecem uma imagem bidimensional, a perda de madeira pela ação das brocas marinhas foi trabalhada a partir da área e não do volume. Esta etapa facilitou a visualização das diferentes camadas presentes no corpo de prova.

Após a identificação da cor que correspondia à porção remanescente de madeira, as demais camadas foram excluídas da imagem, deixando em evidência

apenas a camada referente ao corpo de prova em análise, representado pela cor marrom e a área perdida representada pela cor branca. Em seguida, foi obtida a imagem final desconsiderando as porções que correspondiam às incrustações biológicas, como algas, cracas e outros organismos. De outra forma, estas incrustações forneceria um acréscimo considerável à área final calculada da imagem, o que não era desejável.

A FIGURA 16 resume todas as etapas de como foi realizado o tratamento das imagens até chegar ao resultado, em porcentagem.

FIGURA 16 – RESUMO DAS ETAPAS DO TRATAMENTO DE IMAGEM DO CORPO DE PROVA APÓS A SUA EXPOSIÇÃO À AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS UTILIZANDO O SOFTWARE QGIS



FONTE: A autora (2019).

Com o tratamento das imagens, foi possível determinar a área remanescente em cm^2 para cada face do corpo de prova, pois permitiu uma boa visualização da área perdida, bem como a sua quantificação.

3.4.4 Comparativo entre estimativa com o tratamento de imagens e a norma EN 275

Após o tratamento das imagens, a área estimada de cada corpo de prova foi transformada para percentual e relacionada de acordo com a classificação da norma EN 275 (1992), que está descrita na TABELA 1.

TABELA 1 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO DA ÁREA INFESTADA POR BROCAS MARINHAS SEGUNDO A NORMA EN 275 (1992)

Avaliação	Classificação	Condição e aparência do corpo de prova
0	Não atacada	Sem sinais de ataque
1	Ataque leve	Poucos túneis separados, cobrindo não mais que 15% da área do corpo de prova
2	Ataque moderado	Túneis cobrindo não mais que 25% da área do corpo de prova
3	Ataque severo	Túneis cobrindo entre 25 e 50% da área do corpo de prova
4	Completamente atacado	Túneis cobrindo mais que 50% da área do corpo de prova

Fonte: EN 275 (1992).

3.5 IDENTIFICAÇÃO DOS AGENTES XILÓFAGOS

Após a realização das radiografias, iniciou-se o processo de abertura dos corpos de prova para a coleta do material biológico em seus interiores. Para tanto, foram utilizados formões para as partes mais rígidas e as regiões mais frágeis foram removidas manualmente.

Quando alguma espécie de molusco ou crustáceo era encontrada, procedia-se a remoção cuidadosa para evitar qualquer dano ao seu corpo. No caso dos moluscos, muitas vezes apenas os seus vestígios foram encontrados, ou seja, as palhetas calcárias que ficam localizadas na parte posterior do seu corpo. Nestas situações, as palhetas foram coletadas e utilizadas na identificação das espécies. Todo o material biológico coletado foi armazenado em recipientes contendo álcool (70%) com a identificação correspondente ao corpo de prova onde foi encontrado.

Em seguida, o material biológico coletado passou por uma triagem para a retirada de fragmentos e outros tipos de resíduos que não fossem de interesse. A identificação das espécies foi realizada pelos professores Doutores Ana Cláudia de Paula Müller e Paulo da Cunha Lana, utilizando lupa estereoscópica e as chaves de identificação dos autores Turner (1971), Turner e Johnson (1971) e Müller e Lana (2004).

3.6 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Os dados obtidos foram submetidos ao teste de Shapiro-Wilk e de Bartlett, para avaliar a normalidade e a homogeneidade dos dados, respectivamente. Foi realizada uma Análise de Variância (ANOVA), considerando um Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), com a finalidade de identificar se os tratamentos apresentavam diferença significativa ($\alpha = 5\%$). Ao apresentar diferença estatística, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância, a fim de encontrar quais tratamentos eram diferentes entre si.

Para observar o comportamento de cada tratamento, considerando informações como o tempo que o corpo de prova passou submerso e a área de madeira consumida, foi realizada uma análise de regressão. A partir da linha de tendência de cada agrupamento, foram obtidos o valor de R^2 e a equação da reta. Calculando a primeira derivada da equação da reta, foi obtido o valor do gradiente que estima o quanto de área foi consumido por dia, ao longo do tempo, em cada situação.

Os tratamentos que apresentaram o comportamento semelhante foram agrupados, considerando representativos os que apresentaram $R^2 > 0,8$. Abaixo desse valor, o agrupamento não é considerado representativo para explicar a situação abordada neste estudo. Esse procedimento foi realizado separadamente para cada ponto (L1 e L2), bem como a combinação de ambos, originando três gráficos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 AVALIAÇÃO DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA

4.1.1 Tempo de permanência dos corpos de prova em campo

Durante as visitas mensais, não foram identificadas perfurações nos corpos de prova submersos no ponto situado no rio Guaraguaçu (L3). Além disso, após o período estipulado de treze meses, os corpos de prova apresentavam o mesmo aspecto inicial, sem danos causados por brocas marinhas. Como se trata de uma área de água doce, esperava-se que não houvesse ocorrência desses organismos, devido à ausência de salinidade, o ambiente se torna inapropriado para a sua existência.

Os indivíduos da família *Teredinidae* necessitam de, pelo menos, 12 PSU (unidades práticas de salinidade) de salinidade para sobreviver (STEINMAYER; TURFA, 1996). Os indivíduos do gênero *Limnoria* tendem a ocorrer em locais que possuem salinidade superior a 15 PSU, e os do gênero *Sphaeroma* podem tolerar uma amplitude maior de salinidade (2 a 30 PSU), mas normalmente sua presença é mais comum em locais estuarinos (BORGES et al. 2014; CRAGG, 1988).

Desta forma, como não houve a interação das brocas marinhas nesse local e, conseqüentemente, não houve madeira consumida. Sendo assim, decidiu-se que os corpos de prova provenientes do ponto situado no rio não deveriam entrar nas análises estatísticas.

Nos primeiros três meses após a instalação do experimento, os corpos de prova não apresentaram nenhum sinal de ataque por brocas marinhas. Entretanto, os organismos incrustantes já começavam a se aderir no material. Esta é uma etapa importante para criar um ambiente adequado para o assentamento das larvas.

Em fevereiro, quatro meses após a instalação do experimento, foram observados os primeiros sinais de ataque em grande parte do material. Muitos corpos de prova, principalmente situados no ponto L2, apresentavam sinais mais sutis do ataque por moluscos (FIGURA 17).

FIGURA 17 – CORPO DE PROVA DE *Pinus taeda* L. TRATADO COM ÓLEO QUEIMADO, SUBMERSO NO PONTO L2, APRESENTANDO OS PRIMEIROS SINAIS DE ATAQUE POR MOLUSCOS, INDICADOS PELAS SETAS BRANCAS, NO MÊS DE FEVEREIRO



Fonte: A autora (2019).

Entretanto, no ponto próximo à costa (L1), muitos corpos de prova apresentavam sinais mais avançados de deterioração. Portanto, no mês de fevereiro foi realizada a primeira remoção de corpos de prova por estarem muito deteriorados. Esse material foi retirado para evitar a perda total da peça, pois havia o risco de que alguns corpos de prova se desprendessem das estruturas de PVC, devido ao grande desgaste presente, principalmente, na região do corpo de prova próxima do cordão de fixação (FIGURA 18).

FIGURA 18 – CORPO DE PROVA DE *Pinus taeda* L. TRATADO PELO MÉTODO *SHOU SUGI BAN* APÓS 120 DIAS SUBMERSO NO PONTO PRÓXIMO À COSTA (L1), EM ESTADO AVANÇADO DE DETERIORAÇÃO NA REGIÃO PRÓXIMA AO CORDÃO DE FIXAÇÃO NA ESTRUTURA DE PVC. ONDE: SETA VERMELHA: REGIÃO DETERIORADA; SETA PRETA: CORDÃO



Fonte: A autora (2019).

O aparecimento dos sinais de ataque neste período era esperado, considerando que no mês de fevereiro é verão no hemisfério Sul, o que proporciona o aumento da temperatura da água e, conseqüentemente, da atividade biológica desses organismos. Segundo Junqueira et al. (1989), a maior diferença do processo de infestação entre as águas tropicais e temperadas está relacionada à sazonalidade.

A TABELA 2 apresenta a quantidade total de dias em que cada corpo de prova permaneceu em campo. Percebe-se que foram removidos, após quatro

meses, todos os corpos de prova da testemunha e dos tratamentos com óleo queimado, *Shou sugi ban*, parafina e situados no ponto próximo à costa (L1). Além disso, foram perdidos dois corpos de prova destes dois últimos tratamentos, pois por estarem consideravelmente deteriorados e se desprenderam das estruturas.

TABELA 2 – QUANTIDADE TOTAL DE DIAS DE PERMANÊNCIA DOS CORPOS DE PROVA DE *Pinus taeda* L. SUBMERSOS NOS PONTOS L1 E L2.

Local	Estrutura	Tratamentos Preservativos da Madeira					
		T	O	SSB	BIS	BI	P
L1	1	120	120	120	390	390	120
	2	120	120	120	330	330	120
	3	120	120	P*	390	390	P*
	4	120	120	120	390	390	120
L2	1	180	300	330	390	390	180
	2	330	330	330	390	390	330
	3	210	330	210	390	390	330
	4	210	180	180	330	330	210

FONTE: A autora (2020)

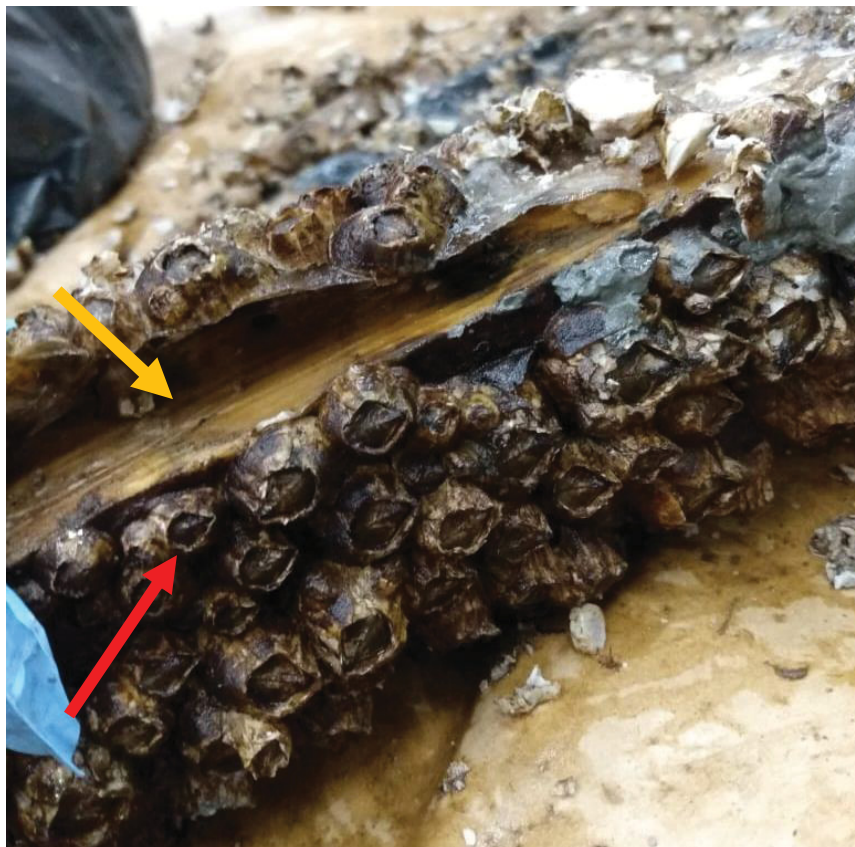
Onde: T: Testemunha; O: Óleo queimado; SSB: *Shou sugi ban*; BIS: Borracha impermeabilizante com adição de sílica; BI: Borracha impermeabilizante; P: Parafina; P*: Perdido

Os corpos de prova tratados com os dois tipos de borracha impermeabilizante foram os que permaneceram por mais tempo, com a maior parte dos corpos de prova presentes até o término do experimento (390 dias). Os corpos de prova destes tratamentos que foram coletados aos 330 dias, apresentavam condições de permanecer em campo. Entretanto, as estruturas de PVC as quais estavam amarrados, estavam comprometidas estruturalmente, impossibilitando a sua permanência.

Apesar do bom desempenho em campo, os corpos de prova tratados com os as borrachas impermeabilizantes apresentaram danos na superfície após oito meses submersos. No mês de junho, a camada protetora formada pelo produto começou a se desprender do corpo de prova. Este dano pode ter sido causado pela colisão da madeira com objetos arrastados pela correnteza, ocasionando a abertura de fendas no revestimento. Desta forma, a água pôde penetrar pela abertura, ocasionando um inchamento e posteriormente o desprendimento.

Este comportamento não é desejável, tendo em vista que com o desprendimento da camada protetora, a madeira volta a ser vulnerável à fixação das brocas marinhas. A FIGURA 19 ilustra o desprendimento da camada protetora de borracha impermeabilizante, deixando exposta a superfície da madeira.

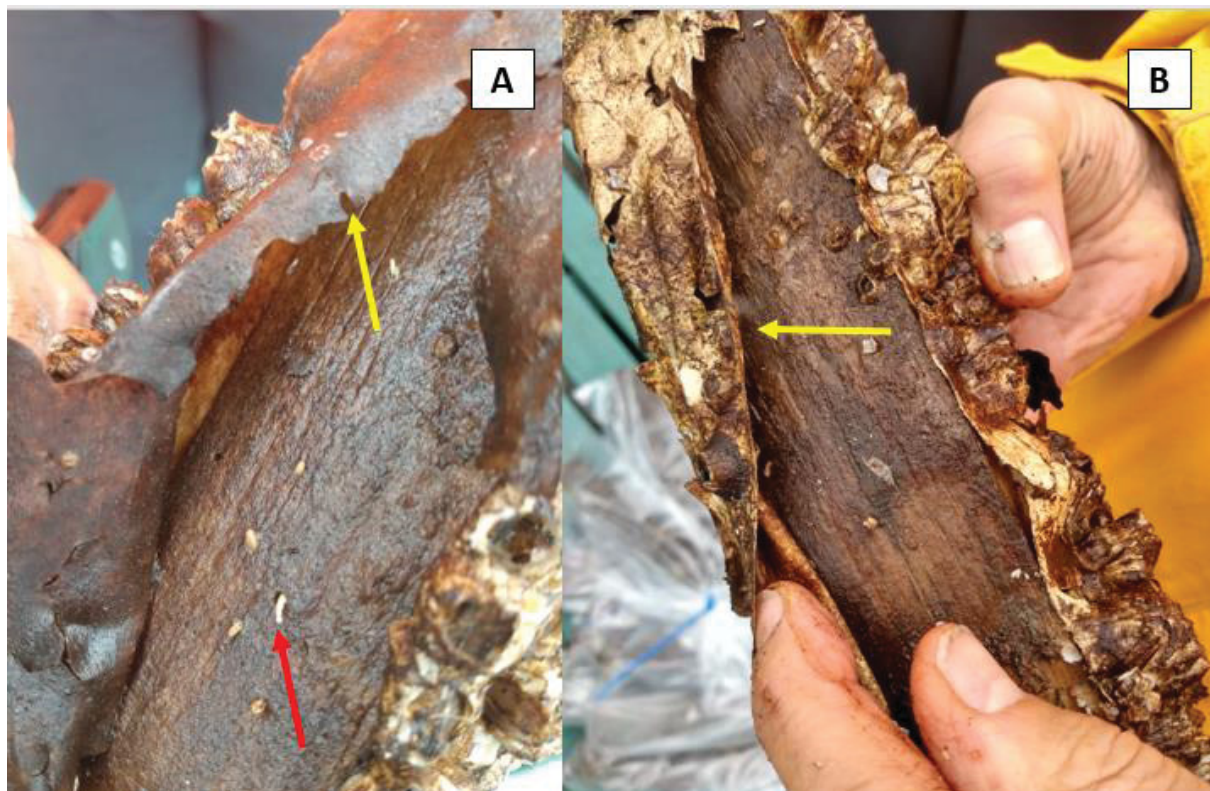
FIGURA 19 – DESPRENDIMENTO DA CAMADA IMPERMEABILIZANTE DE BORRACHA COM CRACAS ADERIDAS. A SETA VERMELHA INDICA O PRODUTO COM AS CRACAS ADERIDAS A ELE; A SETA AMARELA INDICA A SUPERFÍCIE DA MADEIRA LIVRE DE ORGANISMOS INCRUSTANTES



FONTE: A autora (2019).

Uma vez que a madeira não estava mais impermeabilizada, a sua permanência na água aumentou, possivelmente, a vulnerabilidade para o assentamento das larvas de moluscos. Quanto mais tempo a madeira permanece exposta, maior será a quantidade de larvas que poderá entrar em contato com ela para iniciar o assentamento e posterior perfuração (MORAES et al., 2015). Isso aconteceu com os corpos de prova tratados com as duas borrachas impermeabilizantes, pois ao final do experimento, o desprendimento da camada estava muito avançado e os orifícios de entrada dos moluscos foram identificados (FIGURA 20).

FIGURA 20 – DESPRENDIMENTO DAS CAMADAS DE PROTEÇÃO EM CORPOS DE PROVA DE *Pinus taeda* L. APÓS TREZE MESES SUBMERSOS NO PONTO L2. ONDE A: CORPO DE PROVA TRATADO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE; B: CORPO DE PROVA TRATADO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM ADIÇÃO DE SÍLICA; SETA AMARELA: DESPRENDIMENTO DAS CAMADAS PROTETORAS; SETA VERMELHA: PALHETA DE INDIVÍDUO DA FAMÍLIA *TEREDINIDAE* EM SEU ORIFÍCIO DE ENTRADA



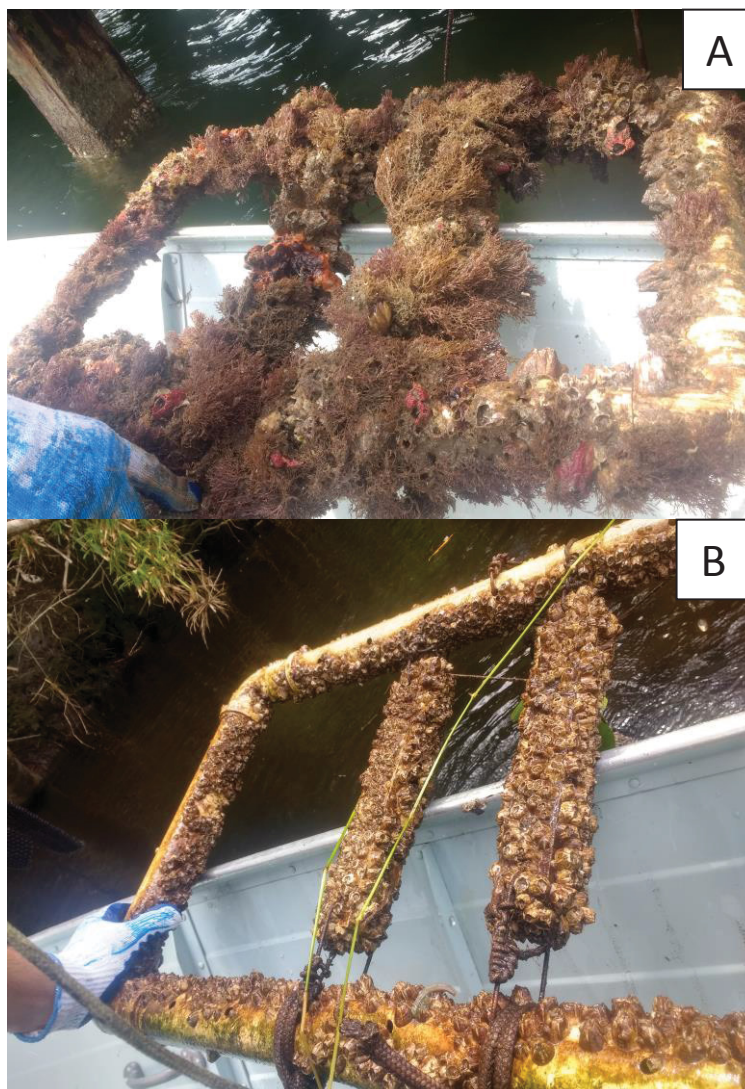
Fonte: A autora (2019).

Por outro lado, essa característica apenas causa a retirada da camada de incrustações na superfície da madeira, podendo facilitar nas atividades de manutenção de estruturas móveis, ou seja, embarcações. Aplicando-se a borracha impermeabilizante no casco de uma embarcação, no momento da manutenção o produto pode ser totalmente removido, facilitando a retirada das cracas e consequente limpeza do casco. Posteriormente, após devidos tratamentos realizados na madeira, uma nova camada da borracha impermeabilizante pode ser aplicada, proporcionando uma nova proteção ao casco e, no momento oportuno para uma nova manutenção, repetir esse processo caso a madeira a ser protegida ainda esteja em condições de uso.

As incrustações presentes nos corpos de prova são diferentes de acordo com o local avaliado. As cracas que colonizaram as peças no local situado na costa (L1) eram maiores e mais difíceis de remover (FIGURA 21A), em comparação

àquelas que colonizaram o material submerso no ponto localizado no ponto L2 (FIGURA 21B).

FIGURA 21 – CORPOS DE PROVA PROTEGIDOS COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE SEM E COM ADIÇÃO DE SÍLICA, RESPECTIVAMENTE, APÓS UM ANO DA INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO, COMPLETAMENTE COBERTOS POR ALGAS E DOIS DIFERENTES TIPOS INCRUSTAÇÕES. ONDE A: INCRUSTAÇÕES PRESENTES NO PONTO L1; B: INCRUSTAÇÕES PRESENTES NO PONTO L2

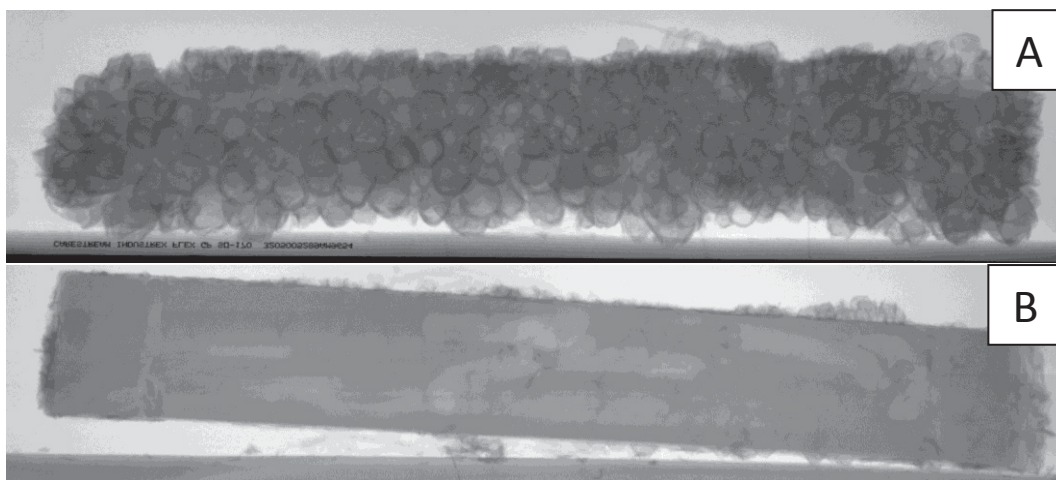


FONTE: A autora (2019).

Devido à grande quantidade de incrustações, houve dificuldade para a boa visualização de algumas peças nas radiografias. Como desenvolveram uma camada de calcário na superfície do corpo de prova, formaram uma barreira entre a madeira e os raios-x. Isso interferiu na obtenção das radiografias, pois impediu a visualização do interior do corpo de prova (FIGURA 22). Sendo assim, quando houve esse tipo

de problema, os corpos de prova passaram por uma raspagem para a remoção das incrustações antes de serem radiografados.

FIGURA 22 – CORPO DE PROVA PROTEGIDO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE APÓS ONZE MESES SUBMERSO NO PONTO L2. ONDE A: CORPO DE PROVA COMPLETAMENTE COBERTO POR INCRUSTAÇÕES; B: O MESMO CORPO DE PROVA APÓS A RASPAGEM DAS INCRUSTAÇÕES, POSSIBILITANDO A VISUALIZAÇÃO DA ÁREA PERDIDA PELA AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS



FONTE: A autora (2019).

Por outro lado, as incrustações podem ter criado barreira protetora, que impediu a entrada das larvas nas peças. Segundo Junqueira et al. (1989), a presença acentuada de incrustações dificulta o contato das larvas com a madeira e, quando conseguem entrar e sofrer metamorfose para a alcançar a fase adulta, podem morrer prematuramente por conta da competição com as incrustações pelas larvas presentes no plâncton. Os mesmos autores citam ainda que outros estudos também encontraram correlação negativa entre a quantidade de incrustações biológicas e a fixação das brocas marinhas.

4.1.2 Análise dos dados

4.1.2.1 Análise estatística

Os dados analisados foram considerados normais e homogêneos, de acordo com os testes de Shapiro-Wilk e de Bartlett. Com base na análise de variância

(ANOVA), conclui-se que os tratamentos apresentam diferença estatística significativa (TABELA 3).

TABELA 3 – INFORMAÇÕES DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA), CONSIDERANDO UM DELINEAMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO (DIC), PARA OBTER A INFORMAÇÃO SE HOUVE DIFERENÇA ENTRE OS TRATAMENTOS.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	11	9887.83540	898.89413	4.5346 **
Resíduo	34	6739.76917	198.22850	
Total	45	16627.60457		

Onde: FV – Fonte de Variação; GL – Graus de Liberdade; SQ – Soma dos quadrados; QM – Quadrado Médio; F – Valor comparado com a tabela de F.

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)

De acordo com a TABELA 4, a maior parte dos tratamentos apresentou semelhança estatística. Entretanto, o tratamento com a borracha impermeabilizante que ficou submersa no ponto L1 diferiu da borracha com a adição de sílica situada no mesmo local, o mesmo aconteceu quando comparada com as duas borrachas impermeabilizantes que estiveram submersas no ponto L2. Os corpos de prova tratados com óleo queimado que estiveram submersos no ponto L1, apresentaram diferença estatística apenas entre os dois tratamentos com borracha impermeabilizante situados no estuário.

TABELA 4 – VALORES MÉDIOS DE ÁREA PERDIDA PARA AS 12 SITUAÇÕES AVALIADAS, ORDENADOS DA MAIOR PARA A MENOR MÉDIA DE ÁREA CONSUMIDA.

Tratamento	Médias	
BI (L1)	64,52	a
O (L1)	51,00	ab
T (L2)	45,97	abc
T (L1)	45,55	abc
P (L1)	45,23	abc
SSB (L1)	40,50	abc
P (L2)	39,67	abc
SSB (L2)	33,70	abc
O (L2)	30,05	abc
BI (L2)	26,30	bc
BIS (L1)	13,95	c
BIS (L2)	12,65	c

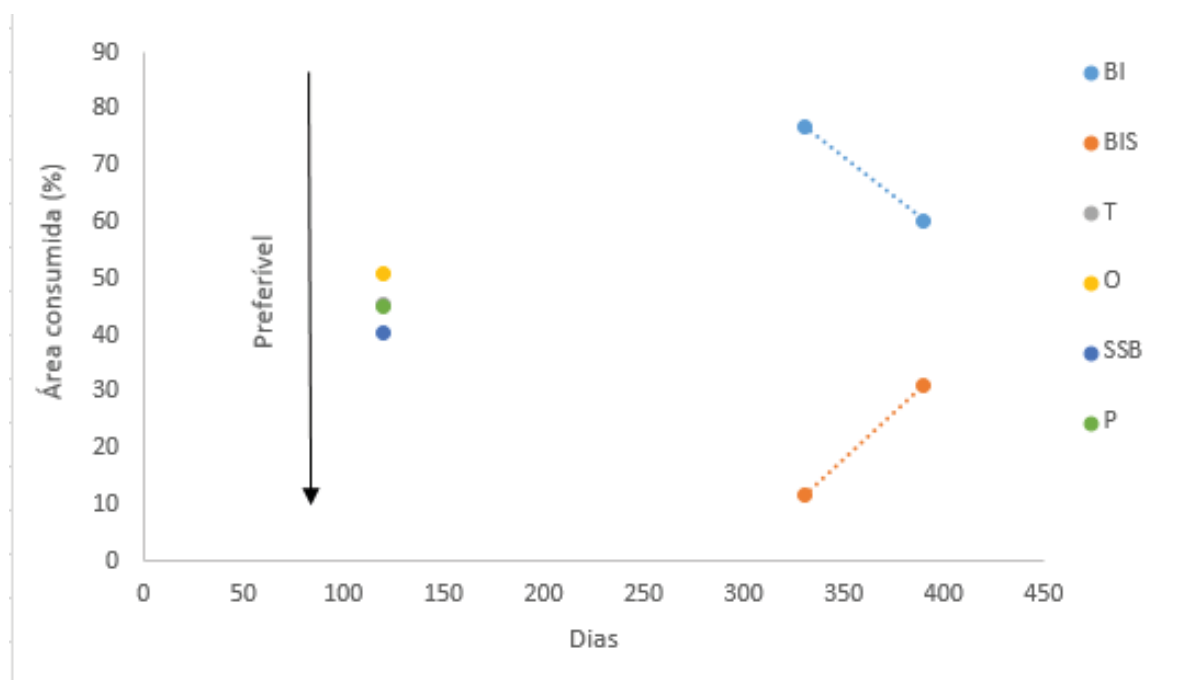
Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu.

Letras iguais não apresentam diferença significativa entre os tratamentos a partir do teste de Tukey a 5% de significância.

4.1.2.2 Análise de regressão

No ponto localizado próximo à costa (L1), foi possível obter as equações apenas para os dois tratamentos com borrachas impermeabilizantes, pois os demais tratamentos foram retirados todos juntos, aos 120 dias. Por este motivo, a testemunha e os tratamentos com óleo, parafina e *Shou sugi ban* estão representados apenas por um ponto na FIGURA 23. Dos tratamentos com borrachas impermeabilizantes, o que apresentou o melhor desempenho foi o tratamento com a adição de sílica, situado na região interior direita do gráfico, que indica menor área consumida.

FIGURA 23 – GRÁFICO MOSTRANDO O COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, NO PONTO LOCALIZADO PRÓXIMO À COSTA (L1).



Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica.

Apesar de apresentar maior área consumida que a borracha impermeabilizante com a adição de sílica, o tratamento sem a adição de sílica

conseguiu resistir por até 390 dias. Desta forma, 13 meses seria prazo máximo indicado para a sua utilização na região costeira, pois neste experimento, foi quando a madeira tratada com este produto estava apresentando uma porção maior de área consumida por brocas marinhas. Sendo assim, se permanecesse em campo por mais tempo, poderia não resistir e romper a sua estrutura.

Na TABELA 5 estão as equações referentes às informações obtidas no ponto localizado próximo à costa (L1), sendo possível perceber que os dois tratamentos com borracha impermeabilizante tiveram comportamentos diferentes. Esta constatação pode ser observada a partir da combinação do R^2 , que apresentou um valor muito baixo, indicando que os dados estão muito dispersos.

TABELA 5 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R^2 E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, NO PONTO LOCALIZADO PRÓXIMO À COSTA (L1). APENAS AS COMBINAÇÕES COM $R^2 > 0,8$ FORAM CONSIDERADAS.

Combinação de tratamentos	Sentido da Equação	Equação	R^2	Gradiente
BI	Negativo	$y = -0,2772x + 168,48$	1	-0,2772
BIS	Positivo	$y = 0,3267x - 96,2$	1	0,3267
BI e BIS	Positivo	$y = 0,0247x + 36,142$	0,0009	

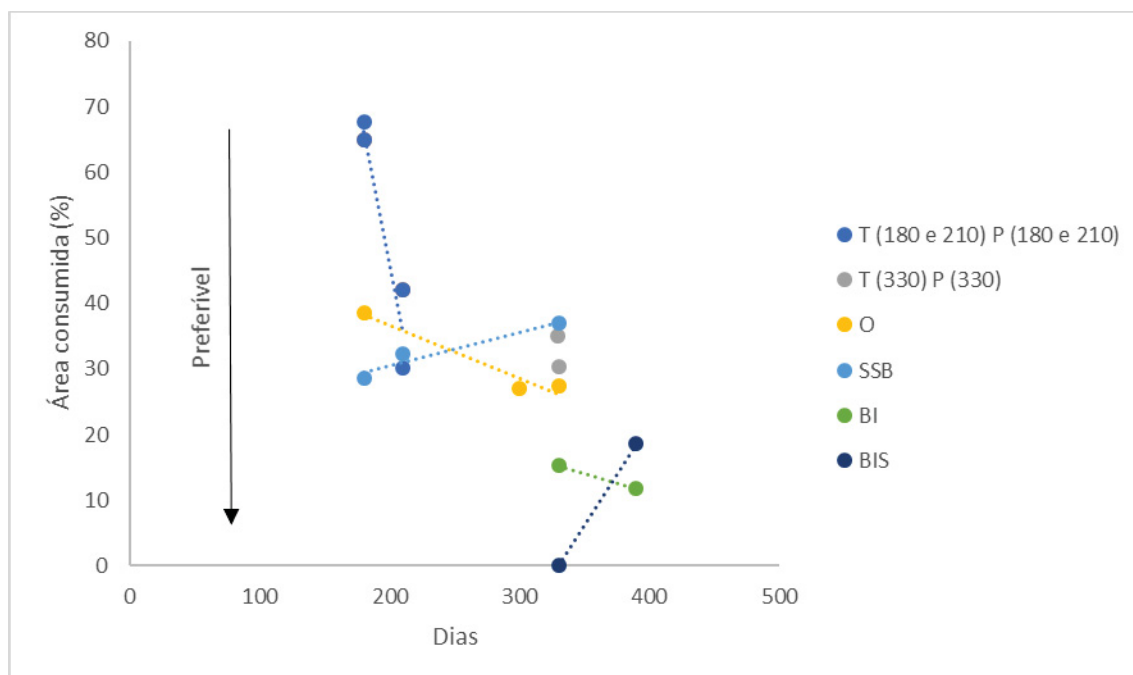
Onde: BI – Borracha impermeabilizante; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica.

*Equações com o sinal “-” indicam que são do sentido negativo e as que não tem nenhum sinal, indicam que são do sentido positivo.

Ao observar o gradiente de cada tratamento, percebe-se que a borracha impermeabilizante apresentou um gradiente de área consumida menor que a borracha impermeabilizante com a adição de sílica. Entretanto, como foi observado na figura anterior, a borracha impermeabilizante com a adição de sílica apresentou menor área consumida ao término do experimento, aos 390 dias. Desta forma, pode-se sugerir que a partir deste período, o tratamento comece a perder o seu bom desempenho devido ao desgaste.

Por meio análise da regressão, percebe-se que os tratamentos que apresentaram o comportamento semelhante no ponto L2 foram apenas a testemunha e a parafina, representadas pela reta azul clara, inclinada para o sentido negativo (FIGURA 24). Os demais tratamentos apresentaram comportamentos diferentes, por isso foram avaliados separadamente.

FIGURA 24 – GRÁFICO DO COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, NO TERÇO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2).



Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; 180, 210 e 330 – Total de dias em que o corpo de prova avaliado permaneceu em campo

Apesar de apresentarem sentidos diferentes das suas retas, os corpos de prova tratados com borracha impermeabilizante, com e sem a adição de sílica se mostraram com o comportamento mais satisfatório. Isso fica visível pois, no gráfico, os dados estão concentrados no canto inferior direito, correspondendo a um maior período de exposição, bem como menor área de madeira consumida em comparação aos demais tratamentos.

Este comportamento também pode ser visualizado na TABELA 6, em que o tratamento com borracha impermeabilizante apresentou o menor gradiente de área consumida por dia dentre as equações com o sentido negativo. Nas equações no sentido positivo, o tratamento com *Shou sugi ban* apresentou o menor gradiente de área consumida, entretanto, quando se observa na figura anterior, o percentual total de área consumida da borracha impermeabilizante com a adição de sílica foi consideravelmente menor que o do *Shou sugi ban*.

TABELA 6 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R^2 E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, NO TERÇO SUPERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2), APENAS AS COMBINAÇÕES COM $R^2 > 0,8$ FORAM CONSIDERADAS.

Combinação de tratamentos	Sentido da Equação	Equação	R^2	Gradiente
BI	Negativo	$y = -0,0589x + 34,733$	1,0000	-0,0589
O	Negativo	$y = -0,0805x + 52,679$	0,9537	-0,0805
T (180 e 210)	Negativo	$y = -0,7617x + 202$	1,0000	-0,7617
T (180 e 210) e P (180 e 210)	Negativo	$y = -1,0042x + 247$	0,9247	-1,0042
SSB	Positivo	$y = 0,0508x + 20,417$	0,9299	0,0508
BIS	Positivo	$y = 0,31x - 102$	1,0000	0,31
T (330), P (330), O	Negativo	$y = -0,0526x + 47,101$	0,4725	
T, P, SSB	Negativo	$y = -0,0999x + 64,641$	0,1054	
T (180, 210 e 330)	Negativo	$y = -0,1599x + 85,655$	0,6559	
T, P, O	Negativo	$y = -0,1953x + 86,874$	0,4990	
T e P	Negativo	$y = -0,2031x + 92,12$	0,4816	

Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – Shou sugi ban; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; 180, 210 e 330 – Total de dias em que o corpo de prova avaliado permaneceu submerso. Aquelas que não estão acompanhadas pelo número total de dias, indica que todas as situações foram consideradas para a equação.

*Equações com o sinal “-” indicam que são do sentido negativo e as que não tem nenhum sinal, indicam que são do sentido positivo.

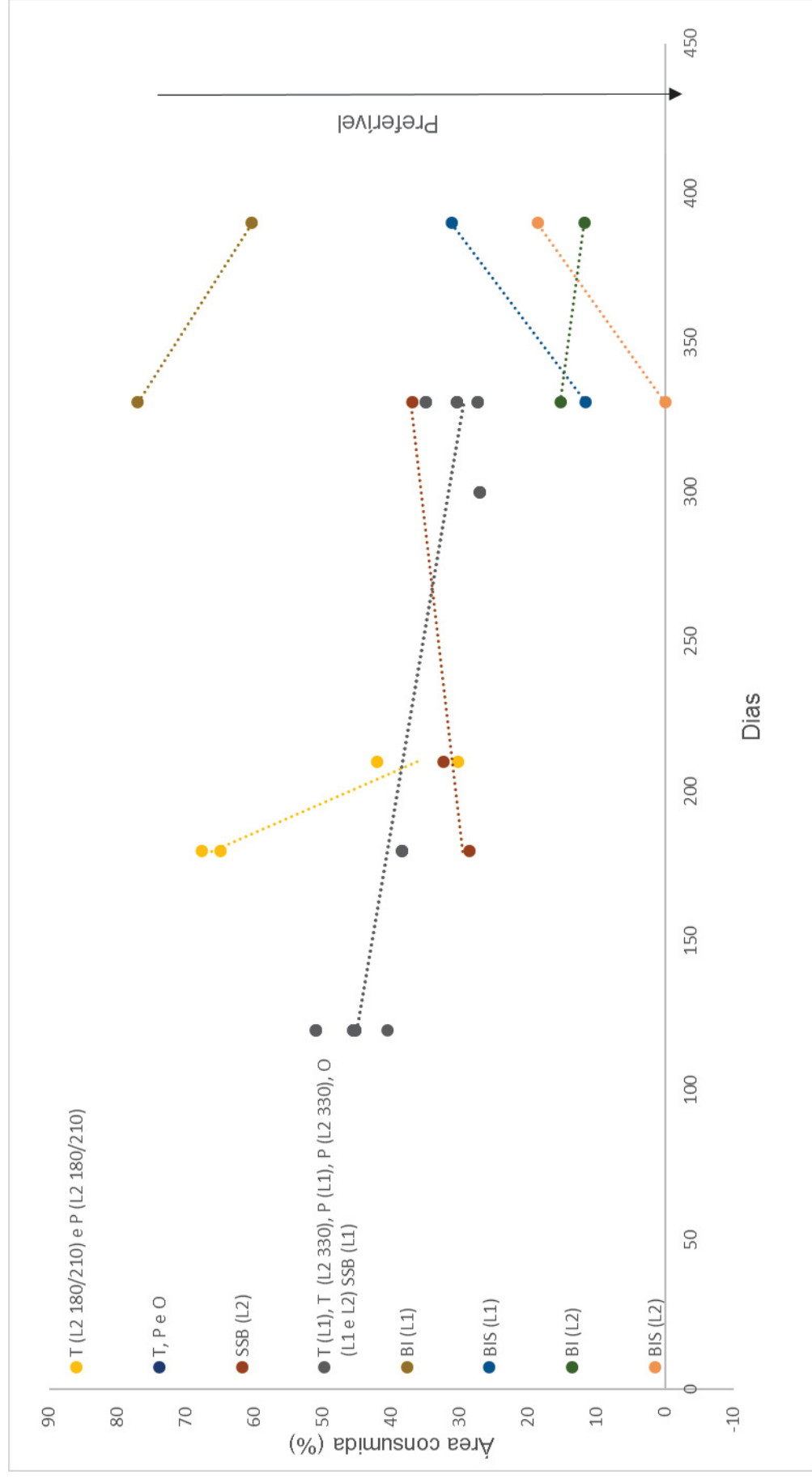
Considerando os gradientes para definição dos tratamentos de menor eficiência, no sentido negativo, a testemunha e a parafina apresentaram o maior gradiente, com o consumo de 1,0042 por dia.

A partir da combinação do comportamento de todos os tratamentos nos dois locais (FIGURA 25), percebe-se que os corpos de prova que apresentaram comportamentos semelhantes foram:

- Os corpos de prova de testemunha e parafina, com tempo de permanência de 180 e 210 dias no ponto L2;
- Todos os corpos de prova tratados com *Shou sugi ban*, instalados no ponto L2, apresentaram comportamento diferentes dos demais tratamentos, que têm suas retas direcionadas para o sentido negativo, enquanto a reta do tratamento *Shou sugi ban* está no sentido positivo;
- Os corpos de prova da testemunha e de parafina, que permaneceram 330 dias submersos no ponto L2, bem como todos os corpos de prova de testemunha, parafina e *Shou sugi ban* submersos no ponto L1 apresentaram comportamento semelhante aos dos corpos de prova de óleo queimado tanto do L1 quanto do L2;

- Os corpos de prova tratados com borracha tratados com borracha impermeabilizante tanto no ponto L1 quanto no L2, apresentaram retas para o sentido negativo, mas não foi possível o agrupamento devido aos percentuais de área consumida que eram distintos. O mesmo ocorreu com os corpos de prova tratados com borracha impermeabilizante com a adição de sílica, mas com as retas para o sentido positivo.

FIGURA 25 – GRÁFICO SOBRE O COMPORTAMENTO DOS TRATAMENTOS A PARTIR DA ÁREA DE MADEIRA CONSUMIDA AO LONGO DO TEMPO, COMBINANDO AS DUAS LOCALIDADES



Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu

Apesar de não ter apresentado os menores gradientes de área consumida ao longo do tempo, os tratamentos com a borracha impermeabilizante e borracha impermeabilizante com a adição de sílica foram os únicos que permaneceram submersos até o término dos 13 meses experimento, correspondendo aos 390 dias.

De acordo com a TABELA 7, estes tratamentos, que permaneceram submersos no ponto L2, apresentaram gradientes de 0,0589 e 0,31, respectivamente. Entretanto, estes também foram os tratamentos que apresentaram as menores médias de área consumida entre os corpos de prova, correspondendo a uma perda de 12,65% para borracha impermeabilizante e de 13,95% para a borracha impermeabilizante com a adição de sílica.

TABELA 7 – EQUAÇÕES OBTIDAS POR REGRESSÃO LINEAR, R² E GRADIENTE DE PERDA AO LONGO DOS DIAS PARA CADA COMBINAÇÃO, COMPARANDO OS DOIS LOCAIS. APENAS AS COMBINAÇÕES COM R² > 0,8 FORAM CONSIDERADAS.

Combinação de tratamentos	Sentido da Equação	Equação	R ²	Gradiente
T (L1), T (L2 330), P (L1), P (L2 330), O (L1 e L2) e SSB (L1 e L2)	Negativo	$y = -0,0252x + 41,279$	0,0894	-0,0252
T (L1) e T (L2 330)	Negativo	$y = -0,0507x + 51,636$	1	-0,0507
BI (L2)	Negativo	$y = -0,0589x + 34,733$	1	-0,0589
T (L1), T (L2 330), P (L1) e P (L2 330)	Negativo	$y = -0,0606x + 52,658$	0,942	-0,0606
T (L1), T (L2 330) e P (L2 330)	Negativo	$y = -0,0613x + 52,907$	0,9178	-0,0613
T (L1), T (L2 330), P (L1 330), P (L2 330) e O (L2)	Negativo	$y = -0,0695x + 55,596$	0,892	-0,0695
T (L1), T (L2 330), P (L1), P (L2 330), O (L1 e L2) SSB (L2)	Negativo	$y = -0,0745x + 53,982$	0,7989	-0,0745
T (L1), T (L2 330), P (L1), P (L2 330) e O (L1 e L2)	Negativo	$y = -0,0812x + 56,081$	0,8419	0,0812
BI (L1)	Negativo	$y = -0,2772x + 168,48$	1	-0,2772
T (L2 180 e 210) e P (L2 180 e 210)	Negativo	$y = -1,0042x + 247$	0,9247	-1,0042
SSB (L2)	Positivo	$y = 0,0508x + 20,417$	0,9299	0,0508
BIS (L2)	Positivo	$y = 0,31x - 102,3$	1	0,31
BIS (L1)	Positivo	$y = 0,3267x - 96,2$	1	0,3267
T (L1), T (L2 330), P (L1), P (L2 330), O (L1 e L2) e SSB (L1 e L2)	Negativo	$y = -0,0252x + 41,279$	0,0894	-0,0252
SSB	Negativo	$y = -0,0029x + 35,207$	0,0025	
T (L1), T (L2 330), P (L1), P (L2 330), O (L1 e L2), SSB (L1) e BI (L2)	Negativo	$y = -0,101x + 57,929$	0,7832	
T (L2 180 e 210), P (L2 180 e 210) e BI (L2)	Negativo	$y = -0,1953x + 86,874$	0,499	
T (L2 180 e 210), P (L2 180 e 210) e O (L1)	Negativo	$y = -0,2383x + 98,211$	0,7695	
T (L2 180 e 210) e T (L1)	Positivo	$y = 0,0127x + 48,668$	0,0022	

Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu

*Equações com o sinal “-” indicam que são do sentido negativo e as que não tem nenhum sinal, indicam que são do sentido positivo.

Os demais tratamentos, apesar de terem apresentado um gradiente menor, permaneceram no campo por menos tempo e tiveram uma área consumida maior. Desta forma, baseado no tempo de permanência e no menor percentual de área consumida, os dois tratamentos com borracha impermeabilizante seriam indicados para uso em áreas com características semelhantes ao terço inferior do rio Guaraguaçu (L2) por até treze meses. Para locais com características semelhantes ao ponto próximo da costa (L1), a borracha impermeabilizante com a adição de sílica apresentou menor área consumida, consequentemente, sendo o tratamento mais indicado por até 13 meses.

4.1.3 Quantificação da área consumida

A partir do tratamento de imagens, foram obtidos os valores médios, que constam na TABELA 8, juntamente com o valor correspondente a sua classificação de acordo com a norma EN 275 (1992).

TABELA 8 – PERCENTUAIS MÉDIOS DA ÁREA CONSUMIDA DE CADA CORPO DE PROVA DO EXPERIMENTO, SUAS RESPECTIVAS CLASSIFICAÇÕES PELA NORMA EN 275 (1992) E OS VALORES MÉDIOS DE CADA TRATAMENTO NOS DOIS AMBIENTES.

Local	Tratamentos											
	T (%)	EN	O (%)	EN	SSB (%)	EN	BIS (%)	EN	BI (%)	EN	P (%)	EN
L1	70,9	4	66,7	4	39,1	3	14,9	1	63,4	4	42,5	3
	27,4	3	18,8	2	Perdida	-	11,6	1	77,0	3	53,9	4
	28,7	3	51,3	4	49,2	3	31,8	3	61,6	4	Perdida	-
	55,2	4	67,2	4	33,2	3	46,9	3	56,1	4	39,3	3
Média	45,55		51		40,5		26,3		64,6		45,23	
L2	64,9	4	27,0	3	28,6	3	0,0	0	23,7	2	67,6	4
	34,9	3	38,5	3	40,4	3	20,4	2	3,7	1	30,2	3
	36,8	3	29,4	3	33,6	3	6,1	1	7,9	1	32,9	3
	47,3	3	25,3	3	32,3	3	29,3	3	15,3	2	28,0	3
Média	45,97		30,05		33,73		13,95		12,65		39,67	

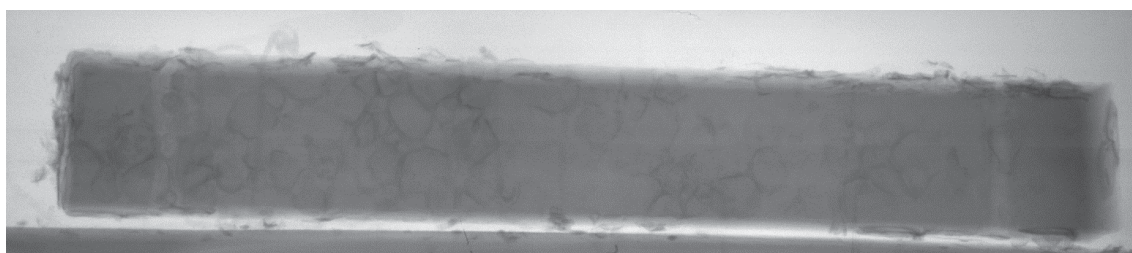
FONTE: A autora (2020).

Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – *Shou sugi ban*; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu; EN: Classificação pela norma EN 275 (1992)

De acordo com os valores médios apresentados, percebe-se que no ponto L2, os tratamentos que apresentaram melhor desempenho foram a borracha impermeabilizante e a borracha impermeabilizante com sílica, sendo que este último

apresentou um corpo de prova sem sinais de ataque (FIGURA 26). A maior parte destes corpos de prova foram classificados nos menores níveis de ataque pela norma, como ataques leves e moderados. Este é um bom resultado, pois os tratamentos que passaram mais tempo submersos apresentaram os menores percentuais de área consumida. Sendo assim, para locais com características semelhantes ao ponto L2, os tratamentos com borracha impermeabilizante com e sem a adição de sílica são indicados para uso por 13 meses, a partir de então começam a mostrar sinais de ataque.

FIGURA 26 – IMAGEM RADIOGRAFADA DE UM CORPO DE PROVA PROTEGIDO COM BORRACHA IMPERMEABILIZANTE COM A ADIÇÃO DE SÍLICA APÓS 11 MESES SUBMERSO NO TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2), SEM APRESENTAR SINAIS DE DANOS PELA AÇÃO DAS BROCAS MARINHAS



FONTE: A autora (2019).

No ponto mais próximo da costa (L1), apenas a borracha impermeabilizante com a adição de sílica apresentou bons resultados, com a menor média geral em comparação aos demais tratamentos. Consequentemente, também foi o tratamento que apresentou as classificações de ataque mais baixas de acordo com a norma. Por outro lado, a borracha impermeabilizante apresentou a maior média de área consumida dentre todos os tratamentos. Porém, vale ressaltar que a maior parte dos corpos de prova tratados com este produto permaneceram submersos até o final do experimento.

Os produtos de borracha impermeabilizantes se mostraram promissores para esta finalidade, porém, o método de aplicação precisa ser aprimorado. Como foi mencionado anteriormente, os corpos de prova com borracha impermeabilizante apresentaram desprendimento da superfície, permitindo o assentamento das larvas. Desta forma, sugere-se que se a camada estivesse completamente aderida aos corpos de prova, sem apresentar danos, os resultados para estes produtos poderiam

ter sido ainda melhores. Segundo Teles e Ferreira (2010), coberturas impermeabilizantes são muito indicadas para proteger a madeira contra a ação de agentes xilófagos, pois evitam que a madeira absorva a umidade que contribui para o processo de deterioração.

O tratamento com óleo queimado não apresentou resultados satisfatórios, entretanto, a forma de utilização pode ter ocasionado esse desempenho. Segundo McQuaid (1930), o óleo deve ser utilizado em combinação com algum produto que seja tóxico a organismos xilófagos. Em seu estudo, utilizou o óleo combinado com outros produtos considerados tóxicos, pois segundo o autor, o óleo serve como um transportador para o material tóxico. Com base nesses argumentos, pode-se sugerir que apenas o óleo não tenha potencial para fornecer maior resistência para a madeira contra brocas marinhas, baseando-se também nos resultados apresentados neste estudo.

A parafina é uma substância hidrofóbica, portanto, a sua aplicação na madeira é realizada com a intenção de impedir a absorção de umidade. Segundo Risi (2017), a aplicação da parafina pode ser mais eficiente se for criada uma camada externa do produto na madeira. Ela pode conferir maior resistência, pois, devido as suas propriedades de solidificar em temperatura, pode dificultar contato e fixação da broca na superfície da madeira. Desta forma, a camada externa de parafina pode ter efeito protetor mais eficiente que a impregnação com autoclave que foi utilizada no presente estudo.

No tratamento com *Shou sugi ban*, esperava-se que a superfície carbonizada conferisse maior resistência à degradação causada pelas brocas marinhas. Entretanto, o tratamento não apresentou a resistência desejada, não sendo indicado para a proteção da madeira em ambiente marinho. Desta forma, é provável que as alterações químicas que ocorreram na superfície do corpo de prova não foram suficientes para deixar a madeira menos palatável para as brocas marinhas. Teles e Ferreira (2010) indicam que a carbonização superficial tem eficácia duvidosa e sugerem que, além da queima superficial, a superfície seja revestida com outros materiais para melhorar o seu desempenho.

Além da área consumida, outros fatores que podem ser determinantes para a indicação dos tratamentos é a facilidade de aplicação e o custo. A parafina foi aplicada na madeira com pressão em autoclave, que é um método industrial, que se

torna mais caro em comparação aos demais, pois requer uma infraestrutura mais complexa e mão de obra especializada (MENDES; ALVES, 1988).

Considerando o método de aplicação, as duas borrachas impermeabilizantes são as mais indicadas, visto que sua aplicação foi realizada por imersão simples, sendo mais prática em comparação aos demais métodos de tratamento.

4.2 ESPÉCIES DE MOLUSCOS E CRUSTÁCEOS ENCONTRADOS NOS CORPOS DE PROVA

Nos corpos de prova foram encontrados indivíduos inteiros ou partes deles, que possibilitaram a identificação das espécies, como as palhetas dos *Teredinidae*. Também foram encontrados fragmentos e vestígios da presença de brocas marinhas, como partes dos corpos e fezes. Esse material biológico é muito frágil e, apesar de todo o cuidado no momento da retirada da madeira, o impacto dos instrumentos utilizados podem danificar o material. Além disso, outra hipótese é que alguns indivíduos da família *Teredinidae* possam ter se deteriorado com o tempo, após a remoção dos corpos de prova do mar.

Dos indivíduos coletados nos corpos de prova, foram identificadas oito espécies, sendo sete do filo *Mollusca* (famílias *Pholadidae* e *Teredinidae*) e uma do filo *Crustacea* (família *Limnoriidae*) (TABELA 9). Além dos perfuradores marinhos, foram encontrados também outros organismos como *Polychaeta*, *Gastropoda* e *Crustacea*, alojados nas galerias abertas pelos moluscos e crustáceos perfuradores.

TABELA 9 – LISTA DAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS EM CORPOS DE PROVA DE MADEIRA DE *Pinus taeda* L., COM DIFERENTES TRATAMENTOS DE SUPERFÍCIE E SEM TRATAMENTO

Espécie	Filo	Local
<i>Bankia gouldi</i> Bartsch (1908)	<i>Mollusca</i>	L1
<i>Bankia carinata</i> Gray (1827)	<i>Mollusca</i>	L1
<i>Lyrodus floridanus</i> Bartsch (1922)	<i>Mollusca</i>	L1
<i>Psiloteredo healdi</i> Bartsch (1931)	<i>Mollusca</i>	L2
<i>Sphaeroma terebrans</i> Bate (1866)	<i>Crustacea</i>	L2
<i>Bankia fimbriatula</i> Moll; Roch (1931)	<i>Mollusca</i>	L1 e L2
<i>Bankia rochi</i> Moll (1931)	<i>Mollusca</i>	L1 e L2
<i>Martesia striata</i> Linnaeus (1758)	<i>Mollusca</i>	L1 e L2

FONTE: A autora (2019)

Onde: L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu.

As espécies *B. fimbriatula*, *B. rochi* e *M. striata* foram encontradas em ambas as localidades, o que indica que apresentam maior tolerância à alteração de salinidade em comparação às demais, podendo estar presentes tanto em locais de alta quanto de baixa salinidade.

Em relação à distribuição destas espécies por tratamento, as mais frequentes entre os tratamentos foram *B. fimbriatula* e *M. striata*. No ponto localizado no terço inferior do Rio Guaraguaçu (L2), *B. fimbriatula* foi identificada em três tratamentos, enquanto no ponto situado próximo da costa (L1), a espécie esteve presente nos seis tratamentos. A espécie *M. striata* foi encontrada em um tratamento do estuário e seis do ponto da região costeira. Além destas espécies, apenas mais uma esteve presente nos dois pontos, que foi a *B. rochi* (TABELA 10).

TABELA 10 – LISTA DAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS, RELACIONANDO-AS COM OS TRATAMENTOS DA MADEIRA EM QUE FORAM ENCONTRADAS E OS LOCAIS EM QUE OS CORPOS DE PROVA ESTIVERAM SUBMERSOS

Tratamento	Local	Espécies encontradas
T	L1	<i>B. fimbriatula</i> , <i>B. gouldi</i> , <i>B. rochi</i> , <i>M. striata</i>
	L2	Apenas galerias de Teredinidae
P	L1	<i>B. gouldi</i> , <i>B. fimbriatula</i> , <i>M. striata</i> , <i>L. floridanus</i>
	L2	<i>B. fimbriatula</i> e <i>P. heold</i>
SSB	L1	<i>B. carinata</i> , <i>B. fimbriatula</i> , <i>B. gouldi</i> , <i>M. striata</i> ,
	L2	<i>M. striata</i> , <i>S. terebrans</i> e galerias de Teredinidae
O	L1	<i>B. carinata</i> , <i>B. fimbriatula</i> , <i>B. gouldi</i> , <i>M. striata</i>
	L2	<i>B. fimbriatula</i> , <i>B. rochi</i> , <i>P. heold</i>
BI	L1	<i>B. fimbriatula</i> , <i>B. rochi</i> , <i>M. striata</i>
	L2	<i>B. fimbriatula</i>
BIS	L1	<i>B. fimbriatula</i> , <i>B. rochi</i> , <i>L. floridanus</i> , <i>M. striata</i>
	L2	Apenas galerias de Teredinidae

Onde: BI – Borracha Impermeabilizante; O – Óleo queimado; T – Testemunha; P – Parafina; SSB – Shou sugi ban; BIS – Borracha impermeabilizante com adição de sílica; L1 – ponto próximo à costa; L2 – ponto no terço inferior do Rio Guaraguaçu

Dentre as espécies encontradas, era esperado que indivíduos de *B. fimbriatula* ocorressem em ambas as localidades, pois segundo Müller e Lana (2004), essa espécie tem ocorrência tanto em área de estuário quanto de oceano. Nos corpos de prova que continham indivíduos desta espécie, não foi encontrado nenhum indivíduo ou vestígio que indicasse associação com outras espécies. Foram

encontrados dois espécimes inteiros, sendo um com 13,5 cm (FIGURA 27) e outro com 23 cm.

FIGURA 27 – EXEMPLAR DE *Bankia fimbriatula* Moll; Roch COLETADO EM CORPO DE PROVA SUBMERSO NO PONTO LOCALIZADO NO TERÇO INFERIOR DO RIO GUARAGUAÇU (L2)



FONTE: A autora (2019).

A presença de *M. striata* em grande parte do material, pode ser explicada por ser uma espécie com distribuição ampla. Segundo Leonel, Lopes e Aversari (2002), pode ser encontrada em regiões temperadas e tropicais, mesmo em salinidades muito baixas. Os mesmos autores citam a sua presença em águas marinhas e estuarinas das regiões sul e sudeste do Brasil. Os indivíduos adultos desta espécie são tolerantes a variações consideráveis de salinidade, por exemplo, abaixo de 6 PSU, sendo que esta característica influencia na adaptação em diferentes ambientes (SINGH; SASEKUMAR, 1994).

As espécies de Pholadidae podem utilizar como substrato diversos tipos de materiais, sendo capazes de perfurar até rochas (MENZIES; TURNER, 1957). Esse comportamento associado à sua ampla ocorrência fazem com que esses organismos sejam associados a grandes prejuízos financeiros. Os autores Cookson e Scown (1999) citam o gênero *Martesia* como muito associado a problemas em estruturas marinhas, destacando a espécie *M. striata* dentre as de maior importância.

No presente estudo, a espécie *S. terebrans* foi encontrada apenas nas peças instaladas no ponto situado no L2. Este resultado é compatível com o que foi encontrado por Loyola e Silva (1960), que cita a ocorrência de *S. terebrans* em áreas estuarinas em diferentes cidades do Brasil, Singh e Sasekumar (1994) afirmam que a espécie tem preferência por este tipo de ambiente.

O mesmo aconteceu com *P. healdi*, que segundo Müller e Lana (2004), ocorre apenas em estuários de áreas tropicais, em locais de salinidades muito baixas. A sua ausência no local mais próximo à costa (L1) pode ser explicada pela manutenção da salinidade, pois nesse local não ocorrem tantas variações de salinidade como no local do terço inferior do Rio Guaraguaçu.

As espécies *B. gouldi*, *B. carinata* e *L. floridanus* apresentaram ocorrência apenas na região costeira, o que pode indicar que elas possuem sensibilidade a grandes variações de salinidade.

Segundo Turner¹ (1973 *apud* MÜLLER; LANA, 2004), a espécie *B. gouldi* é considerada tipicamente marinha, havendo poucos registros de sua ocorrência em regiões estuarinas, onde é menos expressiva por apresentar sensibilidade às substâncias húmicas contidas na água do estuário.

O mesmo ocorre com *B. carinata*, os indivíduos desta espécie necessitam de alta salinidade para a sua sobrevivência. Em um estudo avaliando os fatores ecológicos do ambiente para a ocorrência de espécies, Borges et al (2014) afirmam que a *B. carinata* é uma das espécies de maior exigência para este fator, ocorrendo em locais com salinidade acima de 35 PSU.

A *L. floridanus* é uma espécie de ocorrência abrangente, não sendo considerada endêmica, mas a faixa de salinidade que essa espécie tolera é muito pequena (BARRETO;JUNQUEIRA;SILVA, 2000). Segundo os mesmos autores, a salinidade crítica para a sobrevivência desta espécie é de 11,93 PSU, o que explica a sua ausência no ponto situado no terço inferior do Rio Guaraguaçu, que possui uma variação muito ampla de salinidade devido à influência da maré.

Portanto, foi possível observar a presença de diferentes espécies em todos os tratamentos, sendo algumas delas ocorrendo em apenas um dos locais de estudo, enquanto outras estiveram presentes em ambos. Além disso, nenhum tratamento foi eficiente para inibir completamente a presença das brocas marinhas.

¹TURNER, R.D. Wood-boring bivalves, opportunistic species in the deep sea. **Science**. Washington: American association for Advancement of Science, n. 180, p. 1377-1379, 1973

Porém, vale ressaltar que o tratamento de borracha impermeabilizante com adição de sílica foi o único a apresentar um corpo de prova sem nenhum ataque.

Observando o bom desempenho desse produto no presente estudo, sugere-se que outros testes venham a ser feitos para avaliar o aumento da sua efetividade. A realização de manutenções periódicas, por exemplo, para restabelecer a camada superficial de borracha impermeabilizante, ou ainda a combinação da borracha impermeabilizante com algum outro produto como a tinta de embarcação, que normalmente é utilizada para aumentar a durabilidade da madeira em ambiente marinho.

5 CONCLUSÕES

- Entre os tratamentos testados, a madeira com borracha impermeabilizante apresentou bom desempenho para o local de estuário, em um período de 390 dias; a madeira com borracha impermeabilizante com a adição de sílica apresentou bom desempenho para ambos os locais, em 390 dias;
- Apesar de existirem corpos de prova que permaneceram até o término do experimento, nenhum tratamento inibiu completamente a presença das brocas marinhas;
- A metodologia de avaliação de imagens facilitou a análise dos corpos de prova, em relação a quantificação da área consumida pelas brocas marinhas;
- Verificou-se a ocorrência de diferentes espécies de moluscos e crustáceos nos corpos de prova, entretanto, apenas as espécies *Bankia fimbriatula*, *Bankia rochi* e *Martesia striata* estiveram presentes em ambos os locais.

REFERÊNCIAS

- AKAMINE, D.T.M.; SILVA, D.A.C.; CÂMARA, G.L.; CARVALHO, T.V.; BRIENZO, M. Endoglucanase activity in *Neoteredo reynei* (Bivalvia, Teredinidae) digestive organs and its content. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, n.84, 2018.
- ALFIERI, P.V.; CORREA, M.V. Fungi observation in deteriorated wooden heritage: analysis using different imaging techniques. **Revista Argentina de Microbiologia**, Buenos Aires, v. 49, n. 1, p. 120–122, 2017.
- BARRETO, C.C.; JUNQUEIRA, A.O.R.; SILVA, S.H.G. The Effect of Low Salinity on Teredinids. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 43, n.4, 2000.
- BASTIDA, R.; TORTI, M.R. Organismos perforantes de las costas argentinas II. La presencia de *Limnoria* (*Limnoria*) *tripunctata* Menzies, 1951 (Isopoda, Limnoriidae) en el Puerto de Mar del Plata. **Physis**, Buenos Aires, v.31, n. 82, p. 143-153, 1972.
- BRAGA JÚNIOR, M.M.; MATOS, T.S.; ANDRADE, G.M.; MELO, L.E.L. Embarcações tradicionais no sudeste do Pará, Brasil: Identificação anatômica e propriedades tecnológicas das principais madeiras utilizadas. In: MELO JÚNIOR, J.C.F.; KRUEL, V.S.F.; HANAKAZI, N. (org.). **Árvores e madeiras na cultura naval tradicional**. Joinville: Editora Univille, 2019. p. 51 – 77.
- BRITISH STANDARD **EN 275**: Wood Preservatives. Determination of the Protective Effectiveness Against Marine Borers, 1992.
- BORGES, L.M.S. Biodegradation of wood exposed in the marine environment: Evaluation of the hazard posed by marine wood-borers in fifteen European sites. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 96, p. 97–104, 2014.
- BORGES, L.M.S.; MERCKELBACH, L.M.; CRAGG, S.M. Biogeography of wood-boring crustaceans (Isopoda: Limnoriidae) established in european coastal waters. **Plos one**, v.9, n.10, p.1-9, 2014.
- BOROJEVIC, K.; STEINER, W. E.; GERISCH, R.; ZAZZARO, C.; WARD, C. Pests in an ancient Egyptian harbor. **Journal of Archaeological Science**, v. 37, n.10,p. 2449–2458, 2010.
- BOYLE, P.J.; TURNER, R.D. The larval development of the wood boring piddock *Martesia striata* (L.) (Mollusca: Bivalvia: Pholadidae). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**. v. 22, n. 1, p.55-68, 1976.
- BURNETT, J. Forestry Commission Scotland. **Greenhouse Gas Emissions Comparison - Carbon benefits of Timber in Construction**. Edimburgo: ECCM Report 196, 2006. Relatório técnico.
- CHARLES, F.; COSTON-GUARINI, J.; GUARINI, J.M.; FANFARD, S. Wood decay at sea. **Journal of Sea Research**, v. 114, p. 22–25, 2016.

CLAUSEN, C.A. Biodeterioration of wood. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2010. p. 1-16.

COOKSON, L.J.; SCOWN, D.K. Recent Marine Wood Preservation Research in Australia. In: 10th INTERNATIONAL CONGRESS ON MARINE CORROSION AND FOULING, 1999, Melbourne. **Anais...**, Melbourne: University of Melbourne, 1999. p. 172–195.

COSTA, A.F.; VALE, A.T.; GONZALEZ, J.C.; SOUZA, F.D.M. Durabilidade de madeiras tratadas e não tratadas em campo de apodrecimento. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n.1, p. 7-14, 2005.

CRAGG, S.M. The wood-boring Isopod, *Sphaeroma*: a threat to maritime structures in warm waters. In: HOUGHTON, D.R.; SMITH, R.N.; EGGINS, H.O.W. (eds) **Biodeterioration 7**. Elsevier Applied Science, London, 1988, p.727-732.

CRAGG, S.M.; PITMAN, A.J.; HENDERSON, S.M. Developments in the understanding of the biology of marine wood boring crustaceans and in methods of controlling them. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 43, n. 4, p. 197–205, 1999.

EBNER, D.; STELZER, R.; BARBU, M.C. Study of wooden surface carbonization using the traditional Japanese Yakisugi technique. **Pro Ligno**, v.15, n.4, 2019.

FIGUEIREDO, E.O.; SÁ, C.P. **Silvicultura e Manejo de Povoamentos de Teca (*Tectona grandis* L.f.)**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2015. Documentos 138.

FREITAS, L.M.; MELLO, R.D.L.S. Teredinidae (Mollusca - Bivalvia) do Rio Manguaba e da Praia de Barreiras do Boqueirão, Porto de Pedras e Japaratinga, Alagoas, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 27, n. 2, p. 73–87, 1999.

FODERARO, L.W. Cleaner Harbor Has a Downside: Pests That Plague Park Construction. **The New York Times**, Nova Iorque, 23 de agosto de 2011.

GALLON, R.; STANGERLIN, D.M.; SOUZA, A.P.; PARIZ, E.; GATTO, D.A.; CALEGARI, L.; MELO, R.R. Resistência à deterioração de madeiras amazônicas tratadas por imersão simples em óleo queimado. **Nativa**, v. 02, n. 01, p. 48-52, 2014.

GALVÃO, A.P.M.; MAGALHÃES, W.L.E.; MATTOS, P.P. **Processos práticos para preservar a madeira**. Colombo: Embrapa Florestas, 2004. Documentos 96.

GONÇALVES, F.G.; PINHEIRO, D.T.C.; PAES, J.B.; CARVALHO, A.G.; OLIVEIRA, G.L. Durabilidade natural de espécies florestais madeiras ao ataque de cupim de madeira seca. **Floresta e Ambiente**, v. 20, n.1, p. 110-116, 2013.

GONZÁLEZ-LAREDO, R. F.; ROSALES-CASTRO, M.; ROCHA-GUZMÁN, N. E.; GALLEGOS- INFANTE, J. A.; MORENO-JIMÉNEZ, M. R.; KARCHESY, J.J. Wood preservation using natural products. **Madera y Bosques**, vol. 21, n.

especial 63-76, p. 63-76, 2015.

GOULARTI FILHO, A.. História Econômica da Construção Naval no Brasil: Formação de Aglomerado e Performance Inovativa. **Economia**, v. 12, n. 2, p. 309–336, 2011.

HINGSTON, J.A.; COLLINS, C.D.; MURPHY, R.J.; LESTER, J.N. Leaching of chromated copper arsenate wood preservatives: a review. **Environmental Pollution** **111**, p. 53-66, 2001.

HIMMI, S.K.; YOSHIMURA, T.; YANASE, Y.; et al. Wood anatomical selectivity of drywood termite in the nest-gallery establishment revealed by X-ray tomography. **Wood Science and Technology**, v. 50, n. 3, p. 631–643, 2016.

HOCHMAN, H., VIND, H., ROE, T. JR, MURAOKO, J., CASEY, J.. **The role of *Limnoria tripunctata* in promoting early failure of creosoted piling**. Port Hueneme: US Naval Civil Engineering Laboratory, 1956. Technical Memo M-109.

HU, W. The Critters Doing \$114 Million in Damage to Brooklyn's Piers. **The New York Times**, Nova Iorque, 13 de setembro de 2019.

JOHNSON, H. **La maderia**. Barcelona: Editora Blume 1996.

JUNQUEIRA, A.O.R.; SILVA, S.H.G.; SILVA, M.J.M. Avaliação da infestação e diversidade de Teredinidae (Mollusca – Bivalvia) ao longo da costa do estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Memórias do Instituto Oswaldo Cruz**, Rio de Janeiro, v. 84, 1989.

KEY, R.B.; LANGRISH, T.A.G.; WALKER, J.C.F. **Kiln-Drying of Lumber**. 1.ed. Springer, 2000.

KLÜPPEL, A.; CRAGG, S.M.; MILITZ, H.; MAI, C. Resistance of modified wood to marine borers. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 104, p. 8–14, 2015.

KYMÄLÄINEN, M.; HAUTAMÄKI, S.; LILLQVIST, K.; SEGERHOLM, K.; RAUTKARI, L. Surface modification of solid wood by charring. **Journal of Materials Science**, v. 52, p. 6111–6119, 2017.

KOLLMANN, F.F.P.; COTE, W.A.J. **Principles of Wood Science and Technology**. 1.ed. Berlin: Springer, 1968.

LEBOW, S.T.. Wood preservation. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2010. p. 1-27.

LESAR, B.; HUMAR, M. Use of wax emulsions for improvement of wood durability and sorption properties. **European Journal Wood Products**, v.69, p.231-238, 2011.

LEONEL, R.M.V.; LOPES, S.G.B.C.; AVERSARI, M. Distribution of wood-boring

bivalves in the Mamanguape River estuary, Paraíba, Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 82, n. 6, p. 1039–1040, 2002.

LOPES, S.G.B.C.; NARCHI, W. Levantamento e distribuição das espécies de Teredinidae (Mollusca - Bivalvia) no manguezal da Praia Dura, Ubatuba, São Paulo, Brasil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 41, n. 1–2, p. 29–38, 1993.

LOYOLA E SILVA, J.. Sphaeromatidae do litoral Brasileiro. (Isopoda - Crustacea). — **Boletim da Universidade do Paraná**. Zoologia, v. 4, p.1-128, 1960

MALDONADO, G.C.; SKINNER, L.F. Differences in the distribution and abundance of teredinidae (Mollusca: Bivalvia) along the coast of Rio de Janeiro state, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 64, n. 4, p. 375–386, 2016.

MATTOS, B. D.; GATTO, D. A.; CADEMARTORI, P. H. G.; STANGERLIN, D. M.; BELTRAME, R. Durabilidade a campo da madeira de três espécies de Eucalyptus tratadas por imersão simples. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 8, n. 4, p. 648-655, 2013.

MATTOS, B.D.; GATTO, D.A.; MISSIO, A.L.; LOURENÇON, T.V. Influência de tratamentos preservativos na propagação da onda ultrassônica na madeira de eucalipto. **Scientia Plena**, v. 8, n. 44, p. 1-6, 2012

MCQUAID, H.S.; **Wood preservation**. United States Patent Office. 20 de maio, 1930

MELO, R.R.; SANTINI, E.J.; HASELEIN, C.R.; GARLET, A.; PAES, J.B.; STANGERLIN, D.M. Resistência de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz a fungos e cupins xilófagos. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 20, n. 3, p. 501-511, 2010

MENDES, A.S.; ALVES, M.V.S. **A degradação da madeira e sua preservação**. Brasília: IBDF/DPq-LPF, 1988.

MENZIES, R.J.; TURNER, R. The distribution and importance of marine wood borers in the United States. In: SYMPOSIUM ON WOOD FOR MARINE USE, West Conshohocken, 1957. **Anais...**, v. 109, 1957 p. 3–21.

MORAES, D.T.; COELHO JUNIOR, CLEMENTE, CRUZ, R.C.G.; LOPES, S.G.B.C. Ocorrência e recrutamento larval de Teredinidae (Mollusca, Bivalvia) na região do Sistema Costeiro Cananéia-Iguape, São Paulo, Brasil. **Iheringia, Série Zoologia**, Porto Alegre, v.105, n.1, p.:28-34, 2015.

MORESCHI, J.C. **Biodegradação e preservação da madeira: Métodos de tratamento da madeira**. Volume 1, 58 p., 2013a

MORESCHI, J.C. **Biodegradação e preservação da madeira: Métodos de tratamento da madeira**. Volume 3, 58 p., 2013b

MÜLLER, A.C.P.; LANA, P.D.C. Teredinidae (Mollusca, Bivalvia) do litoral do Paraná, Brasil. **Revista Nerítica**, Pontal do Sul, v. 1, n. 3, 1986.

MÜLLER, A.C.P.; LANA, P.C. **Manual de identificação de moluscos bivalves da família dos teredinídeos encontrados no litoral brasileiro**. 1. ed. Curitiba: UFPR, 2004.

NAIR, N.B.; SARASWATHY, M. The biology of wood-boring teredinid molluscs. **Advances in Marine Biology**, v. 9, n. C, p. 335–509, 1971.

OLIVEIRA, J.T.; TOMASELLO, M.; SILVA, J.C. Resistência natural da madeira de sete espécies de eucalipto ao apodrecimento. **Árvore**, Viçosa-MG, v.29, n.6, p.993-998, 2005.

PAALVAST, P.; VAN DER VELDE, G. Distribution, settlement, and growth of first-year individuals of the shipworm *Teredo navalis* L. (Bivalvia: Teredinidae) in the Port of Rotterdam area, the Netherlands. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 65, n. 3, p. 379–388, 2011.

PAES, J.B. Resistência natural da madeira de *Corymbia maculata* (Hook.) K.D.Hill & L.A.S. Johnson a fungos e cupins xilófagos, em condições de laboratório. **Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.6, p.761-767, 2002.

PAES, J.B.; MEDEIROS NETO, P.N.; LIMA, C.R.; FREITAS, M.F.; DINIZ, C.E.F. Efeitos dos extrativos e cinzas na resistência natural de quatro madeiras a cupins xilófagos. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 399-405, jul./set. 2013

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de Madeira**. 6 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

RODRIGUES, L.C.; SANTANA, M.A.E. Metodologia para determinação do teor de sílica em materiais lignocelulósicos via espectrometria no Ultravioleta-visível. **Floresta e Ambiente**, v. 12, n.1, p. 57-62, 2005.

RODRIGUES, L.C.; SANTANA, M.A.E. Determinação do teor de sílica em madeira por espectroscopia de absorção atômica de chama versus espectroscopia no ultravioleta visível. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 259-264, 2008.

SANCHES, E.G.; SANTOS NETO, J.; LIBERATI, L.; COSTA, M.R. Eficiência da escovação no controle de incrustações biológicas em tanques-rede. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 40, n.2, p.37-41, 2007.

SAMPAIO, R. **Uso balneário, apropriação do espaço e meio ambiente em Pontal do Paraná, litoral paranaense**. 228f. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento). Universidade Federal do Paraná: Curitiba, 2006.

SILVA, J.C.; LOPEZ, A.G.C.; OLIVEIRA, J.T.S. Influência da idade na resistência natural da madeira de *Eucalyptus grandis* w. hill ex. maiden ao ataque de cupim de madeira seca (*Cryptotermes brevis*). **Árvore**, Viçosa-MG, v.28, n.4, p.583-587, 2004.

SILVA, M.J.M.; SILVA, S.H.G.; JUNQUEIRA, A.O.R. Distribuição vertical de Teredinidae (Mollusca, Bivalvia) em Portugal, Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brasil. **Revista Brasileira de Zoologia**. v.5, n.1, p.155-165, 1988.

SINGH, H.R.; SASEKUMAR, A. Distribution and abundance of marine wood borers on the west coast of Peninsular Malaysia. **Hydrobiologia**, v. 285, p.111-121, 1994.

SOUTHERN FOREST PRODUCTS ASSOCIATION. **Guia de Construção Marina Água doce, água salobra y água salada – Conceitos de design y Lineamientos de especificación**, Metairie, 2014.

SOUTHWELL, C.R.; BULTMAN, J.D. Marine Borer Resistance of Untreated Woods over Long Periods of Immersion in Tropical Waters. **Biotropica**, v. 3, n.1, p.81-107, 1971

SOUZA, R.S.; STANGERLIN, D.M.; PARIZ, E.; MELO, R.R. Efficiency of burnt oil as wood preservative submitted to field deterioration tests. **Nativa**, v.4, n.3, p.139-143, 2016.

ŠPILÁK, D.; TEREŠNOVÁ, L.; DÚBRAVSKÁ, K.; MAJLINGOVÁ, A. Analysis of carbonized layer of wood beams with different geometric cross-section shape. **Delta**, v. 12, n. 2, p.65-81, 2018

SSEMAGANDA, I.E.; MUGABI, P.; TUMWEBAZE, S.B. Effectiveness of selected preservatives in protecting ugandan grown eucalyptus grandis wood against termite attack. **Maderas**, v. 13, n. 2, p. 135-142, 2011

STANGERLIN, D.M.; COSTA, A.F.; GARLET, A.; PASTORE, T.C.M. Resistência natural da madeira de três espécies amazônicas submetidas ao ataque de fungos apodrecedores. **Ciência da Madeira**, Pelotas, v. 04, n. 01, p. 15-32, 2013

STEINMAYER, A.G.; TURFA, J.M.I. Effects of shipworm on the performance of ancient Mediterranean warships. **International Journal of Nautical Archaeology**, v. 25, n. 2, p. 104–118, 1996.

RISI, B. **Method for impregnation of wood component with solid paraffin wax, apparatus therefor and wood component so impregnated**. Depositante: Bernoit Risi, Cap St-Ignace (CA). Data da patente: 20 de junho de 2017.

TELES, C.D.M.; FERREIRA, O.P. Preservação da madeira: práticas brasileiras do passado e oportunidades de pesquisa para o futuro. **Resgate**. v.18, n. 20, 2010.

TOMMASI, L.R.; BAUER, L.F.; LARA, G.A. Controle do desenvolvimento de incrustações biológicas em tubulações de fundações de ponte marítima, em sistema de concretagem submersa "Prepakt". **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v.21, p.117-128, 1972

TURNER, R.D. Identification of marine wood-boring molluscs. In: JONES, E.B.; ELTRINGHAM, S.K. **Marine borers, fungi and fouling organisms of wood**. Paris: Organisation for economic Co-operation and Development, 1971. p.17-64.

TURNER, R.D.; JOHNSON, A.C. Biology of marine wood-boring molluscs. In: JONES, E.B.; ELTRINGHAM, S.K. **Marine borers, fungi and fouling organisms of**

wood. Paris: Organisation for economic Co-operation and Development, 1971. p. 259-301.

VIDAL, J.M.A.; ROCHA-BARREIRA, C.A. Shipworms (Mollusca: Bivalvia: Teredinidae) from a brazilian Northeast estuary. **Arquivo de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 42, n.2, p. 43-49, 2009.

WALKER, J.C.F. **Primary wood processing: Principles and Practice**. 2.ed. Netherlands: Springer, 2006.

WEDVIK, B.; STEIN, M.; STORNES, J.M.; MATTSSON, J. On-site radiosopic qualitative assessment of historic timber structures: Identification and mapping of biological deterioration of wood. **International Journal of Architectural Heritage**, v. 10, n. 5, p. 646–662, 2016.

XIE, Y.; FU, Q.; WANG, Q.; XIAO, Z.; MILITZ, H. Effects of chemical modification on the mechanical properties of wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.71, p.401-416, 2013.